



Rafael Marques Dias

Licenciatura em Ciências da Engenharia Mecânica

Um Contributo para a Integração de Métodos para Conceção de Anteprojetos de Equipamentos Mecânicos

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

Engenharia Mecânica

Orientador: Prof. Doutor António Gabriel dos Santos, Professor Auxiliar,
Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade Nova de
Lisboa

Júri:

Presidente: Doutora Helena Victorovna Guitiss Navas

Vogais: Doutor António José Freire Mourão
Doutor António Gabriel Marques Duarte dos Santos



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Setembro, 2019

Integração de Métodos para Conceção de Anteprojetos de Equipamentos Mecânicos

Copyright © Rafael Marques Dias, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Agradecimentos

Gostaria de agradecer ao meu orientador, Professor António Gabriel Santos, por todo o apoio e orientação prestados, que tornou possível o desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço aos meus pais e à minha irmã todo o apoio dado ao longo dos últimos 5 anos e aos meus tios, que me permitiram que morasse com eles e possibilitaram a realização deste curso.

Agradeço a todos os meus amigos, por tudo aquilo que passamos ao longo dos últimos anos. Em especial ao André, António, Joana, Luís, Nuno, Ricardo e Sebastião por todos os dias de estudo, trabalho e festa.

Resumo

Atualmente, existem diversas metodologias para a concepção de anteprojetos de equipamentos mecânicos, no entanto nenhuma delas poderá ser utilizada em todo o processo. Há então a necessidade de estruturar todo o processo e indicar quais as metodologias mais adequadas para cada fase, para cada tipo de produto e para cada tipo de unidade de produção. O anteprojeto é a fase inicial de um projeto, é nesta fase em que ficam decididos grande parte das estruturas e mecanismos, que estarão incluídos no projeto final. Esta fase também toma uma grande importância devido a ser na fase inicial do projeto que grande parte dos custos ficam comprometidos.

Na fase inicial desta dissertação, serão estudadas algumas das mais utilizadas metodologias, que se podem utilizar no anteprojeto, de forma a se chegar às ferramentas de cada uma delas que melhor trabalham entre si. As metodologias estudadas são a Teoria Axiomática de projeto, a TRIZ, *Brainstorming* e as metodologias de tomada de decisão multicritério, sendo dada uma especial atenção a *Analytic Hierarchy Process* e *Analytic Network Process*. Todas estas estão amplamente estudadas e são relativamente fáceis de aplicar, para facilitar o trabalho dos projetistas.

Por fim, foi desenvolvida uma metodologia de concepção de anteprojetos, esta utilizará ferramentas dos métodos estudados anteriormente. Tendo como principais características a facilidade de aplicação e a possibilidade de ser utilizada em todas as fases de anteprojeto, algo que nenhuma das existentes consegue fazer. Esta metodologia foi aplicada a um pequeno exemplo, de forma a servir de orientação para a sua utilização em trabalhos futuros.

Palavras-chave: Anteprojetos, Teoria Axiomática, TRIZ, *Brainstorming*, *Analytic Hierarchy Process*, *Analytic Network Process*.

Abstract

Currently, there are multiple methodologies for the conception of conceptual design of mechanic equipment, but none of them can be used in the entire process. Creating the necessity to structure the entire process and reference which methodologies are more adequate to each phase, each type of product, each type or production unit of mechanical equipment. Conceptual design is the initial phase of a project, in this phase the structure and mechanisms are decided. This phase has a great importance because is here that most of the costs are compromised.

In the initial phase, of this thesis, it will be studied some of the more applied methodologies, that can be used in conceptual design, to know what tools, presented in each one, can be applied simultaneously. Those methodologies are Axiomatic Theory of Design, TRIZ, Brainstorming, and Multicriteria Decision Making Methods, with more detail in the Analytic Hierarchy Process and Analytic Network Process, all of them are widely studied and are relatively easy to apply, to facilitate the work of designers.

Lastly, a methodology for the conception of conceptual design will be developed, that will use the tools presented in methods studied before. It will have as principle characteristics the easy application, and the possibility to be used in all phases of conceptual design, something that none of the currently existing cannot do. This methodology will be applied to a small example, to exist an orientation for future applications.

Keywords: Conceptual design, Axiomatic Theory of Design, TRIZ, Brainstorming, Analytic Hierarchy Process, Analytic Network Process.

Índice

AGRADECIMENTOS	III
RESUMO	V
ABSTRACT	VII
ÍNDICE	IX
ÍNDICE DE FIGURAS	XI
ÍNDICE DE TABELAS	XIII
LISTA DE ACRÓNIMOS, SÍMBOLOS E ABREVIATURAS	XV
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 ENQUADRAMENTO	1
1.2 OBJETIVOS	2
1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	2
2 METODOLOGIAS	3
2.1 TEORIA AXIOMÁTICA	3
2.1.1 Introdução	3
2.1.2 Principais conceitos.....	3
2.1.2.1 Domínios	3
2.1.2.2 Hierarquias	4
2.1.2.3 Ziguezague	4
2.1.3 Axiomas	5
2.1.3.1 Axioma da independência	5
2.1.3.2 Axioma da informação	6
2.2 TRIZ.....	7
2.2.1 Introdução	7
2.2.2 Principais Conceitos.....	8
2.2.2.1 Níveis de Inovação	8
2.2.2.2 Contradições Técnicas e Físicas.....	9
2.2.2.3 Idealidade dos sistemas	10
2.2.2.4 Recursos	11
2.2.3 Ferramentas e Técnicas	12
2.2.3.1 Princípios de invenção e matriz de contradições.....	12
2.2.3.2 Princípios de separação	15

2.2.3.3	Análise Substância-Campo.....	15
2.2.3.4	ARIZ.....	21
2.3	UTILIZAÇÃO CONJUNTA DE TEORIA AXIOMÁTICA DE PROJETO E TRIZ.....	24
2.3.1	Introdução	24
2.3.2	Aplicação da TRIZ em modelo de Teoria Axiomática de Projeto	24
2.3.2.1	Modelo de aplicação.....	24
2.3.2.2	Exemplo de aplicação.....	26
2.3.3	Aplicação de Teoria Axiomática de Projeto em um modelo da TRIZ.....	29
2.3.3.1	Modo de aplicação.....	29
2.3.3.2	Exemplo de aplicação.....	30
2.4	BRAINSTORMING	31
2.4.1	Introdução	31
2.4.2	Tipos de Brainstorming.....	31
2.4.2.1	Brainstorming em grupo.....	31
2.4.2.2	Brainstorming individual.....	33
2.5	MÉTODOS DE TOMADA DE DECISÃO MULTICRITÉRIO.....	33
2.5.1	Introdução	33
2.5.2	Categorias.....	33
2.5.3	Métodos.....	34
2.5.3.1	Analytic Hierarchy Process (AHP)	36
2.5.3.2	Analytic Network Process (ANP)	40
3	DESENVOLVIMENTO DE METODOLOGIA.....	43
3.1	INTRODUÇÃO	43
3.2	MODO DE APLICAÇÃO	45
3.3	EXEMPLO DE APLICAÇÃO	46
4	CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	53
	BIBLIOGRAFIA.....	55
	ANEXOS.....	60
	ANEXO A	61
	ANEXO B	66
	ANEXO C	75
	ANEXO D	80

Índice de Figuras

Figura 1.1 - Relação entre custo comprometido e incorrido ao longo do projeto, adaptado de [1]	1
Figura 2.1 - Ilustração de Domínio, Hierarquia e Ziguezague, adaptado de [2]	5
Figura 2.2 - Procedimento geral da triz, adaptado de [13]	8
Figura 2.3 - Fluxograma de análise de recursos, retirado de [21]	12
Figura 2.4 - Sistema completo, retirado de [25]	16
Figura 2.5 - Situação 1, retirado de [12]	18
Figura 2.6 - Situação 2, retirado de [12]	18
Figura 2.7 - Situação 3, retirado de [12]	18
Figura 2.8 - Solução geral 1, retirado de [12]	19
Figura 2.9 - Solução geral 2, retirado de [12]	19
Figura 2.10 - Solução geral 3, retirado de [12]	20
Figura 2.11 - Solução geral 4, retirado de [12]	20
Figura 2.12 - Solução geral 5, retirado de [12]	20
Figura 2.13 - Solução Geral 6, retirado de [12]	21
Figura 2.14 - Solução geral 7, retirado de [12]	21
Figura 2.15 - Fluxograma simplificado do ARIZ, adaptado de [29]	23
Figura 2.16 - Aplicação da TRIZ num modelo da TA, adaptado de [32]	25
Figura 2.17 - Esquema de máquina de papel, adaptado de [32]	26
Figura 2.18 - FR's da máquina de papel	26
Figura 2.19 - DP's da máquina de papel	27
Figura 2.20 - Aplicação da TRIZ com apoio da TA, adaptado de [31]	29
Figura 2.21 - Representação da hierarquia, retirado de [37]	36
Figura 2.22 - Representação da matriz de comparação, retirado de [37]	38
Figura 3.1 - Fluxograma de aplicação da metodologia	44
Figura 3.2 - FR's da Caneta Esferográfica	47
Figura 3.3 - DP's da Caneta Esferográfica	47
Figura 3.4 - DP's da Caneta de Aparo	48

Índice de Tabelas

Tabela 2-1 - Diferentes matrizes de projeto e a sua ligação com o axioma da independência, adaptado de [2].....	6
Tabela 2-2 - 39 Parâmetros de engenharia/técnicos, adaptado de [19]	13
Tabela 2-3 - 40 Princípios inventivos, adaptado de [19]	14
Tabela 2-4 - Princípios de Separação e correspondentes Princípios Inventivos, retirado de [23]	15
Tabela 2-5 - Simbologia utilizada na análise substância – campo, retirado de [26]	17
Tabela 2-6 - Classes de Soluções-Padrão, adaptado de [26]	19
Tabela 2-7 - Métodos Multicritério de decisão, retirado de [37].....	35
Tabela 2-8 - Escala fundamental de Saaty, adaptado de [45].....	37
Tabela 2-9 - Valores de Índice Aleatório, retirado de [37]	40

Lista de Acrónimos, Símbolos e Abreviaturas

TA – Teoria Axiomática de Projeto

CN - Necessidades dos Clientes

FR – Requisitos Funcionais

DP – Parâmetros de Projeto

PV – Variáveis de Processo

TRIZ – Teoria de Resolução Inventiva de Problemas

SuField – Análise Substância-Campo

ARIZ – Algoritmo de Resolução Inventiva de Problemas

MCDM – MCDA – Métodos Multicritério de Tomada de Decisão

MODM – Métodos de Tomada de Decisão de Múltiplos Objetivos

MADM – Métodos de Tomada de Decisão de Múltiplos Atributos

AHP – *Analytic Hierarchy Process*

ANP – *Analytic Network Process*

CR – Rácio de Consistência

CI – Índice de Consistência

RI – Índice Aleatório

QFD – Desdobramento da Função Qualidade

1 Introdução

1.1 Enquadramento

O anteprojecto é a fase inicial do projecto, é nesta fase que é definida a estrutura do equipamento, assim como os seus mecanismos gerais, o que conduz a que nesta fase sejam definidos cerca de 70 a 90% dos custos de um projecto [1], como se pode observar na figura 1.1. Desta forma, o anteprojecto, toma uma grande importância para a realização do projecto. Qualquer falha na realização do anteprojecto provoca a alteração do projecto numa fase mais adiantada do projecto, o que irá criar um aumento dos custos, não esperado na orçamentação inicial.

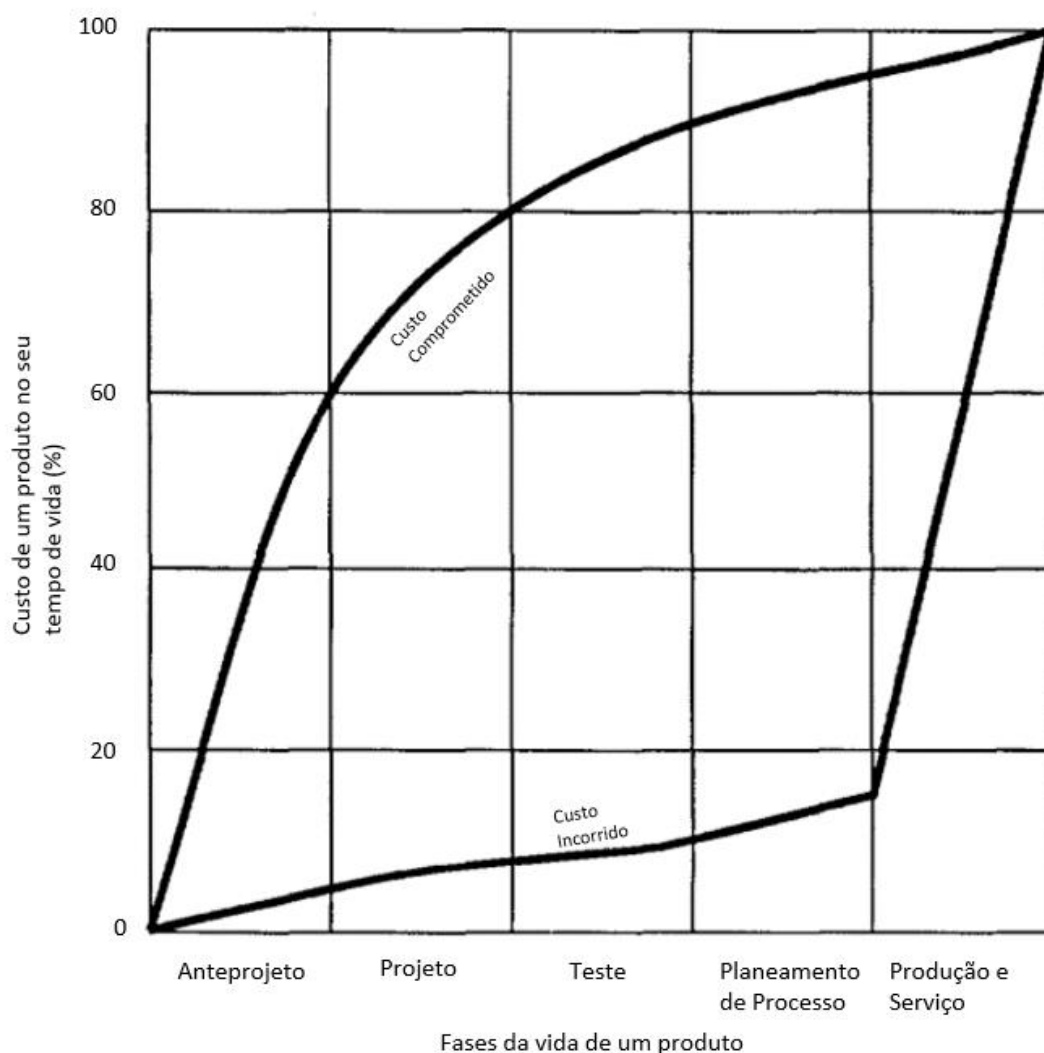


Figura 1.1 - Relação entre custo comprometido e incorrido ao longo do projecto, adaptado de [1]

Existem múltiplas metodologias para auxiliar os projetistas, mas nenhuma delas consegue ser acompanhada durante todo o processo de anteprojecto, criando um problema no desenvolvimento do mesmo. As dificuldades na realização do anteprojecto podem levar a equipa de projecto a cometer erros.

O anteprojeto pode ser dividido em duas fases distintas, o desenvolvimento de soluções e a seleção de uma solução. A primeira é caracterizada pela criação de soluções capazes de responder às necessidades do cliente, nesta fase deve-se tentar alcançar o maior número de soluções possíveis, que devem contemplar todas as alternativas para satisfazer as necessidades. A segunda fase deve analisar todas as soluções criadas na primeira, para realizar uma avaliação e concluir qual responde da melhor forma às necessidades do cliente.

1.2 Objetivos

Esta dissertação tem como objetivo o desenvolvimento de uma metodologia para a realização de anteprojetos de equipamentos mecânicos. Esta metodologia deverá considerar quais as metodologias, já existentes, que se encontrem amplamente desenvolvidas e que existam inúmeras aplicações na literatura e que contenham ferramentas que podem ser utilizadas em conjunto, de forma a que se entrem no desenvolvimento do anteprojeto. O método resultante deste estudo deverá ser de fácil aplicação, assim garante-se que a maioria das equipas o consigam aplicar.

A criação desta metodologia deverá ter como principais objetivos a diminuição do tempo necessário para o desenvolvimento de um anteprojeto e a dificuldade na sua execução. Para alcançar esse objetivo deve conseguir alcançar um método capaz de ser facilmente seguido e que crie soluções a todos os problemas que possam surgir, assim como deve ser capacitado de responder a todas as fases.

1.3 Estrutura da dissertação

Esta dissertação encontra-se estruturada da seguinte forma:

No Capítulo 1, **Introdução**, é apresentado o problema, o objetivo e a estrutura da dissertação.

No Capítulo 2, **Metodologias**, são apresentadas, analisadas e explicadas as principais metodologias que se utilizam, na indústria, para o desenvolvimento de anteprojetos. Sendo estas a Teoria Axiomática de projeto, a TRIZ, *Brainstorming* e os métodos de tomada de decisão multicritério, com maior detalhe para o Analytic Hierarchy Process e Analytic Network Process.

No Capítulo 3, **Desenvolvimento de metodologia**, aqui é apresentada uma metodologia de conceção de anteprojetos, utilizando os métodos analisados anteriormente. São apresentados os pontos de aplicação e um exemplo simples de aplicação da metodologia.

No Capítulo 4, **Conclusões e trabalhos futuros**, são descritas as conclusões retiradas deste trabalho e são apresentados os passos seguintes para o desenvolvimento da metodologia.

2 Metodologias

2.1 Teoria Axiomática

2.1.1 Introdução

A Teoria Axiomática de Projeto (TA), foi desenvolvida no final da década de 70 do século passado, por *Nam P. Suh*, professor no MIT. A TA, descreve um projeto como a interligação entre “o que queremos alcançar?” e “como o queremos alcançar?” [2]. Esta teoria procura a criação de soluções que satisfaçam as necessidades do cliente através do processo de *mapping*, a relação entre os domínios do processo axiomático, entre os requisitos funcionais (*Functional Requirements* – FR), presentes no domínio funcional e os parâmetros de projeto (*Design Parameters* – DP), presentes no domínio físico [3].

Um axioma é uma afirmação inquestionável, que não apresenta provas da sua veracidade, mas para o qual é impossível apresentar uma contraprova, no momento em tal acontece o mesmo deixa de ser válido. A TA tem como base dois axiomas, o axioma da independência e o da informação.

- Axioma da independência: Manter a independência dos requisitos funcionais (FR);
- Axioma da informação: Manter no mínimo o conteúdo de informação inerente ao projeto;

Nos estudos de desenvolvimento da TA, *Suh*, investigou projetos realizados com sucesso na indústria e em universidades desenvolveu a sua metodologia, alcançando o seu estado atual com os seus dois axiomas, oito corolários e vinte e seis teoremas [4], [5].

2.1.2 Principais conceitos

2.1.2.1 Domínios

A Teoria Axiomática divide um projeto em quatro domínios:

- Domínio do cliente – Onde se definem as necessidades do cliente;
- Domínio funcional – Onde se estabelecem os requisitos funcionais de projeto;
- Domínio físico – Onde se definem os parâmetros de projeto;
- Domínio de processo – Onde se definem as variáveis de processo;

Os domínios do cliente e funcional representam “o que queremos alcançar?”, sendo que os domínios físico e de processo representam “como o queremos alcançar?”. Para auxiliar os projetistas a ultrapassar estas perguntas, foi criado o processo de *mapping*. Este processo permite realçar as relações de dependência existentes entre os diversos domínios, podendo ser representado pela matriz de projeto [6]. Apenas as relações entre os domínios do cliente e o

funcional, não se podem representar pela matriz de projeto, devido a não se apresentarem organizados.

Cada um dos domínios tem associado um elemento do projeto (as abreviaturas dos elementos provem do seu nome original em inglês):

- Cliente – Necessidades dos clientes (CN);
- Funcional – Requisitos Funcionais (FR);
- Físico – Parâmetros de projeto (DP);
- Processo – Variáveis do processo (PV);

As necessidades dos clientes são os objetivos que o cliente pretende que sejam cumpridos para a satisfazer as suas necessidades. Estes são transformados em requisitos funcionais, representam as ações que consigam caracterizar na totalidade o que o projeto tem de alcançar. Devem ser definidos com recurso a termos técnicos [2]. Para cada um destes deverá ser correspondido com pelo menos um parâmetro de projeto, estes representam uma característica física que permite a realização das ações que o sistema terá de efetuar. As variáveis de processo demonstram como se deve alcançar os parâmetros de projeto, na fase de manufatura.

2.1.2.2 Hierarquias

As hierarquias, no projeto axiomático são utilizadas para se descrever o processo da decomposição de um produto ou processo para diferentes níveis hierárquicos, os níveis inferiores devem conter um nível de detalhe superior em relação aos níveis anteriores. Realizando a separação de um sistema completo para os subsistemas que o constituem, como por exemplo a decomposição de um carro para os seus componentes. Os domínios funcional, físicos e de processo tem os seus elementos divididos em hierarquias e representam a arquitetura do produto [3].

Na TA, considera-se que o domínio funcional como o objetivo do projeto e o domínio físico como a solução. Assim é fundamental no projeto axiomático a interligação entre estes domínios em todos os níveis hierárquicos [3].

2.1.2.3 Ziguezague

O “Ziguezague” é o processo da divisão de hierarquias entre os pares de domínios ao longo da decomposição do processo. Ou seja, é efetuado um “ziguezague” entre dois domínios, decompondo o projeto nas diferentes hierarquias. Num determinado nível o objeto de projeto, existe um conjunto de FR’s. Antes que estes possam ser decompostos, é necessário que os seus DP’s correspondentes sejam selecionados. Ao ser correspondido, um FR pode ser dividido em um conjunto de FR’s, num nível hierárquico inferior, repetindo-se o processo até se alcançar a

solução do problema. Assim, observa-se que o projeto se baseia na interação constante entre o que se pretende alcançar e como se quer alcançar [7].

Na figura 2.1 pode se verificar os três conceitos mencionados anteriormente.

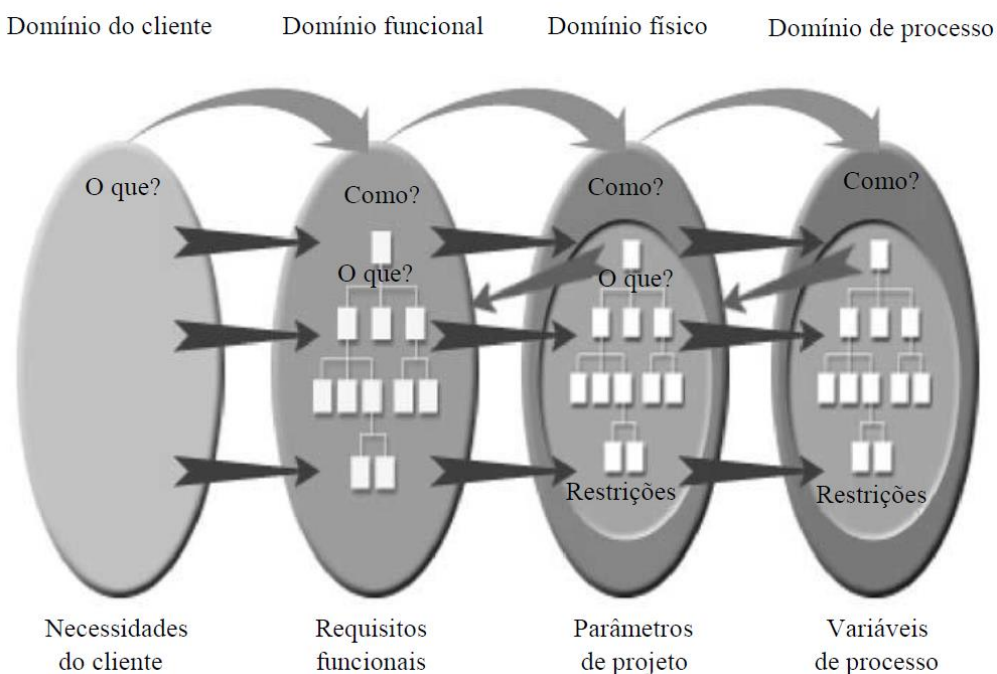


Figura 2.1 - Ilustração de Domínio, Hierarquia e Ziguezague, adaptado de [2]

2.1.3 Axiomas

2.1.3.1 Axioma da independência

O axioma da independência diz-nos que para um projetos ser considerado ideal, deve garantir que os FR's se mantêm independentes entre si. Outra explicação para este axioma é que, num projeto os DP's e os FR's devem estar definidos de forma a poder-se alterar um DP para satisfazer um FR, sem que esta alteração afete os restantes FR's [8].

Apesar de se pretender alcançar a independência total entre os FR's, por vezes esta é impossível de alcançar.

As relações existentes entre os DP's e os FR's, podem ser representadas na matriz de projeto [A], alcançando-se a equação 1:

$$\{FR_i\} = [A] * \{DP_i\} \quad (1)$$

Para se verificar se um projeto respeita o axioma da independência é necessária uma análise à matriz de projeto. A existência desta auxilia os projetistas a perceber as relações existentes entre os FR's e os DP's e quais os ajustes necessários para se garantir a independência dos componentes. O tipo de matriz de projeto, que se obtém após o preenchimento dos campos

da equação, permite distinguir um projeto entre desacoplado, desacoplável e acoplado, da seguinte forma:

- Desacoplado – Matriz diagonal – Respeita o axioma da independência;
- Desacoplável – Matriz triangular – São necessários vários DP's para satisfazer um FR, dependendo da sequência de DP's pode respeitar o axioma;
- Acoplado – Outro tipo de matriz – Não respeita o axioma da independência.

A tabela 2-1 mostra os diferentes tipos de matriz de projeto e a sua classificação em relação à satisfação do axioma da independência.

Tabela 2-1 - Diferentes matrizes de projeto e a sua ligação com o axioma da independência, adaptado de [2]

	Equação de projeto	Processo de projeto
Projeto desacoplado	$\begin{bmatrix} FR_1 \\ FR_2 \\ FR_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & 0 & 0 \\ 0 & A_{22} & 0 \\ 0 & 0 & A_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} DP_1 \\ DP_2 \\ DP_3 \end{bmatrix}$	$FR_1 = A_{11} * DP_1$ $FR_2 = A_{22} * DP_2$ $FR_3 = A_{33} * DP_3$
Projeto desacoplável	$\begin{bmatrix} FR_1 \\ FR_2 \\ FR_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & 0 & 0 \\ A_{21} & A_{22} & 0 \\ A_{31} & A_{32} & A_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} DP_1 \\ DP_2 \\ DP_3 \end{bmatrix}$	$FR_1 = A_{11} * DP_1$ $FR_2 = A_{21} * DP_1 + A_{22} * DP_2$ $FR_3 = A_{31} * DP_1 + A_{32} * DP_2 + A_{33} * DP_3$
Projeto acoplado	$\begin{bmatrix} FR_1 \\ FR_2 \\ FR_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{13} \\ A_{21} & A_{22} & A_{23} \\ A_{31} & A_{32} & A_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} DP_1 \\ DP_2 \\ DP_3 \end{bmatrix}$	$FR_1 = A_{11} * DP_1 + A_{12} * DP_2 + A_{13} * DP_3$ $FR_2 = A_{21} * DP_1 + A_{22} * DP_2 + A_{23} * DP_3$ $FR_3 = A_{31} * DP_1 + A_{32} * DP_2 + A_{33} * DP_3$

2.1.3.2 Axioma da informação

A TA procura, inicialmente, garantir a satisfação do axioma da independência. Mas existem casos em que diversas soluções satisfazem este axioma. Nesse caso deve-se utilizar o axioma da informação para se alcançar a solução ideal.

A TA contém um conceito de informação diferente do que é habitualmente utilizado na língua portuguesa [8]. Nesta teoria a informação está relacionada com a complexidade do projeto e com a probabilidade de sucesso do mesmo. A equação 2 dá-nos a probabilidade “p” de satisfação de um FR por parte de um DP e “I” é o conteúdo de informação do projeto.

$$I = \log_2 \left(\frac{1}{p} \right) \quad (2)$$

Para os casos em que existam diversos FR's e DP's é utilizada a equação 3. Sendo que o melhor projeto é aquele que contém menor conteúdo de informação.

$$I = \sum_{i=1}^n I_i = \sum_{i=1}^n \log_2 \left(\frac{1}{p} \right) \quad (3)$$

A TA tem estabelecido também diversos teoremas e corolários provenientes dos dois axiomas. Um teorema é uma afirmação, que ao contrário dos axiomas, necessita de ser provada, habitualmente a partir de axiomas previamente aceites. Um corolário, é uma proposição consequente de um axioma ou de outras preposições já provadas, ou seja, é deduzido de uma verdade já demonstrada [3]. Ao todo a TA é composta também por 26 teoremas e 6 corolários que suportam a mesma, que se encontram detalhados no anexo A.

2.2 TRIZ

2.2.1 Introdução

A metodologia TRIZ, a Teoria da Resolução Inventiva de Problemas, foi desenvolvida por Genrikh Altshuller e os seus colegas, na antiga União Soviética [9]. É amplamente utilizada na resolução de problemas que necessitem uma abordagem inventiva e inovadora, baseando-se no estudo de problemas descritos em patentes existentes, em que ocorrem problemas semelhantes [10]. Apesar de aparentar a TRIZ não promove a criatividade e espontaneidade dos projetistas, procurando demonstrar que as capacidades de ser criativo e inovador podem ser ensinadas [11]. Esta metodologia é utilizada principalmente nas áreas da engenharia e de gestão [10].

A origem da TRIZ provem da análise a mais de dois milhões de patentes de resolução de problemas de engenharia, na antiga União Soviética, por parte de Altshuller e dos seus colegas, assentando na ideia ‘Alguém já deve ter resolvido este problema ou algum parecido no passado’ [12]. Com esta análise foi possível observar que grande parte destas patentes se baseava na resolução de conflitos dentro dos sistemas. Os conflitos acontecem quando se realiza a melhoria de um aspeto de um sistema em detrimento de um outro [9], estes conflitos são também chamados de contradições. Esta análise permitiu que se chegasse a um método que torne o processo criativo o mais previsível possível e que tenha como principal objetivo permitir a utilização das boas ideias do passado para a utilização em novos projetos [12].

Na figura 2.2 está esquematizado o procedimento geral para a utilização da TRIZ, que começa com uma abstração do problema, de forma a alcançar um problema genérico, através de ferramentas de análise presentes na TRIZ. Com recurso das ferramentas de resolução de problemas da TRIZ chega-se à solução genérica, para de seguida se adaptar essa solução ao problema inicial [12]. Fazendo o paralelismo com a matemática é possível comparar se o procedimento de utilização da TRIZ com as fórmulas matemáticas, como por exemplo a resolução de uma equação quadrática, com recurso à fórmula resolvente. Pois neste caso, também se realiza

a generalização da equação, para se utilizar a fórmula resolvente, chegando-se à solução para o problema específico [11].

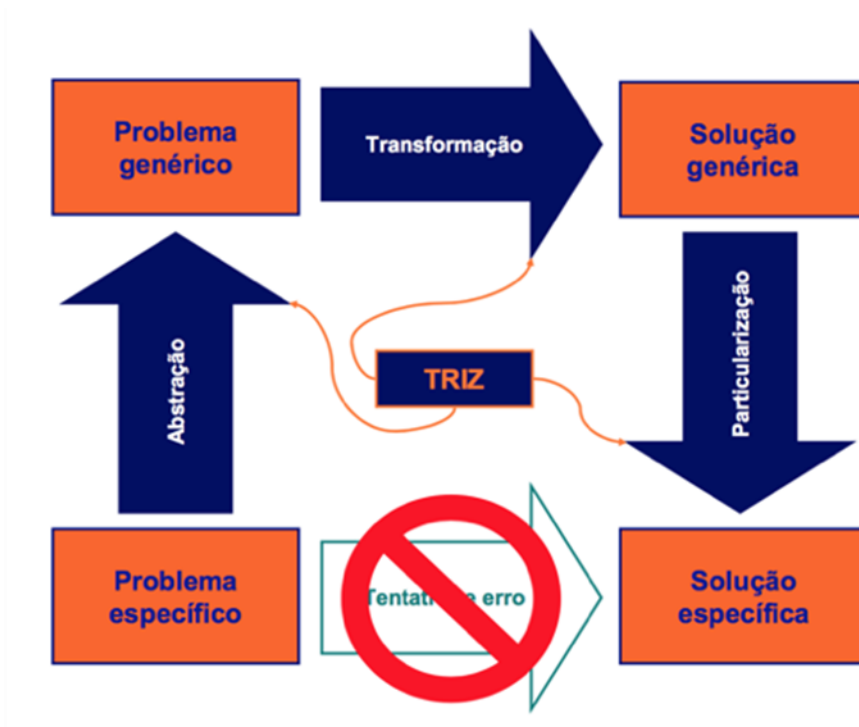


Figura 2.2 - Procedimento geral da triz, adaptado de [13]

2.2.2 Principais Conceitos

2.2.2.1 Níveis de Inovação

Nas análises, realizadas por Altshuller, a diversas patentes, foi possível verificar que existem diferentes graus de inovação, isto é, nem todas as inovações tem um grau de diferenciação igual em relação a produtos já existentes no mercado. Tendo sido proposto cinco graus de inovação [14]:

Nível 1 – Soluções de rotina utilizando métodos bem conhecidos na respetiva área da especialidade - Cerca de 30% de todas as patentes.

Nível 2 – Pequenas correções em sistemas existentes recorrendo a métodos conhecidos na indústria. Cerca de 45% de todas as patentes.

Nível 3 – Melhorias importantes que resolvem contradições em sistemas típicos de um dado ramo de atividade - Cerca de 20% de todas as patentes.

Nível 4 – Soluções baseadas na aplicação de novos princípios científicos. Os problemas são solucionados através da substituição da tecnologia original por uma nova tecnologia - Cerca de 4% de todas as patentes.

Nível 5 – Soluções inovadoras baseadas em descobertas científicas não anteriormente exploradas. Constitui menos de 1% de todas as patentes.

Dentro dos níveis de inovação a TRIZ tem ferramentas que permitem ajudar na resolução de problemas existentes nos níveis 3 e 4, que representam cerca de 25% de todas as patentes, onde as práticas tradicionais utilizadas em engenharia não apresentam resultados satisfatórios. A presença de uma solução dentro de um determinado nível, permite saber qual o estado de desenvolvimento, em que esta está inserida [15].

Na metodologia TRIZ, um problema inventivo existe quando acontecem contradições técnicas. Logo, a resolução de uma contradição técnica ou física, na resolução de um problema, qualifica-se como uma invenção. A invenção é a criação de uma nova ideia técnica e dos meios físicos que permitem a sua resolução. Uma patente só é aceite se a inovação for nova, tiver utilidade e for diferenciada das restantes patentes, isto é não ser evidente para os utilizadores mais experientes. Portanto, uma invenção protegida por uma patente deverá respeitar três requisitos: novidade, utilidade e não evidência [11].

2.2.2.2 Contradições Técnicas e Físicas

As contradições técnicas e físicas são dos termos mais importantes para a metodologia TRIZ. Como já foi dito anteriormente, as contradições acontecem quando se tenta melhorar um aspeto do sistema provocando a deterioração de, pelo menos, um outro. Um dos exemplos de contradição é o aumento da velocidade de um automóvel, que provoca o aumento do consumo de combustível do mesmo. Habitualmente, em engenharia procura-se encontrar um equilíbrio entre o aspeto a melhorar e aquele que é prejudicado, o chamado *trade-off*. A TRIZ procura eliminar as contradições, através de soluções criativas ou inovadoras [11].

Na TRIZ são contemplados três tipos de contradição [16], sendo estas as contradições Administrativas, as Técnicas e as Físicas. As contradições administrativas acontecem quando as capacidades de um sistema não conseguem responder às suas necessidades. As técnicas acontecem quando existe conflito entre dois parâmetros de projeto, causando uma dependência inversa entre eles, estas podem ser resolvidas com a utilização de uma das ferramentas mais utilizadas nesta metodologia, a matriz de contradições [17]. Por fim existem as contradições físicas que acontecem quando um parâmetro deve corresponder a dois requisitos de sistema opostos. Estas conseguem ser resolvidas com recurso a outra ferramenta presente nesta

metodologia, os “princípios de separação”, sendo eles os princípios de separação no espaço, no tempo, à condição e por escala [18].

Um dos principais objetivos da TRIZ é a eliminação das contradições técnicas e físicas, o que torna essencial a identificação e a análise destas, no processo de resolução inventiva de problemas na TRIZ. A identificação das contradições facilita uma resolução criativa e eficaz para os problemas. Existem duas alternativas para a resolução de contradições técnicas. Sendo a primeira a utilização de ferramentas analíticas, como a matriz de contradições e os 40 Princípios Inventivos. A segunda baseia-se na transformação destas em contradições físicas, seguida da utilização das ferramentas para a resolução das mesmas, como os princípios de separação, as bases de dados de fenómenos físicos e os seus efeitos [11]. Segundo Altshuller todas as contradições técnicas se conseguem transformar em contradições físicas[19].

2.2.2.3 Idealidade dos sistemas

A idealidade pode ser considerada a evolução dos sistemas ao longo do tempo, de forma a consumirem menos recursos e diminuïrem os custos inerentes à sua utilização. Para aproximar um sistema da idealidade deve-se aumentar o número de funções benéficas e/ou reduzir-se o número de funções nocivas. A idealidade pode ser descrita através de uma expressão matemática [11], a equação 4.

$$Idealidade = \frac{\sum Funções\ Benéficas}{\sum (Funções\ Nocivas + Custos)} \quad (4)$$

Existem três tipos de funções benéficas [11]:

- Funções úteis principais – aquelas para as quais o sistema foi projetado para realizar;
- Funções secundárias – outras funções úteis;
- Funções auxiliares – funções que auxiliem as funções úteis principais;

As funções nocivas incluem todas as ações prejudiciais de um sistema, como a área ocupada, o ruído produzido, as emissões de poluentes, os custos inerentes, entre outros [11].

Existem diversas alternativas para aumentar a idealidade de um sistema, entre elas o aumento das funções benéficas, a redução das nocivas e dos custos do sistema [11].

Na TRIZ, o conceito de sistema ideal é apenas um conceito teórico, sendo impossível de alcançar. Desta forma um sistema ideal é aquele que não consome recursos, nem apresenta custos e efetua as suas funções na perfeição e que apenas deve de ser utilizado como uma forma de incentivo e pode ser utilizado como guia para se aproximar uma solução o mais possível do sistema ideal. Para se realizar esta aproximação as contradições devem ser resolvidas de forma a

serem utilizados o menor número de recurso, a reduzir os custos e simplificando o sistema para que não existam mais funções nocivas relacionadas com estes parâmetros [11].

2.2.2.4 Recursos

A identificação dos recursos é essencial na metodologia TRIZ, estes podem ser um componente do sistema ou do meio em que este se encontra [20]. Para a resolução de contradições é recomendada a utilização de recursos presentes no sistema, pois estes são a base para soluções mais eficazes. A evolução de um sistema deve tender para a utilização completa dos recursos disponíveis.

De acordo com Savransky [16], o aumento da idealidade, pela redução de custos e de funções nocivas, deve ser realizado pela seguinte ordem:

1. Recursos prejudiciais – Identificação das funções prejudiciais das quais se podem extrair recursos positivos;
2. Recursos disponíveis – Identificação dos recursos já existentes que possam ser utilizados ser qualquer modificação;
3. Recursos derivados – Identificação dos recursos obtidos através da transformação dos recursos que não se encontram num estado em que possam ser utilizados;
4. Recursos diferenciais – Identificação de recursos que possam ser utilizados sob condições diferentes.

A chave da sustentabilidade económica está relacionada com a produtividade dos recursos. A análise de recursos pode ser útil em iniciativas de inovação, para se realizar uma utilização de recursos mais inteligente, eficaz e responsável. As melhorias na utilização de recursos, está relacionada com uma melhoria dos processos. A melhoria incremental, que habitualmente é aplicada, em certos casos poderá não ser suficiente. Tornando-se necessário uma melhoria radical na utilização dos recursos. Logo a utilização da TRIZ e das suas ferramentas, que promovem a inovação, podem tomar uma especial importância na criação de novas soluções, assim como na análise de recursos.

A figura 2.3 mostra como se devem utilizar os recursos na resolução de problemas.

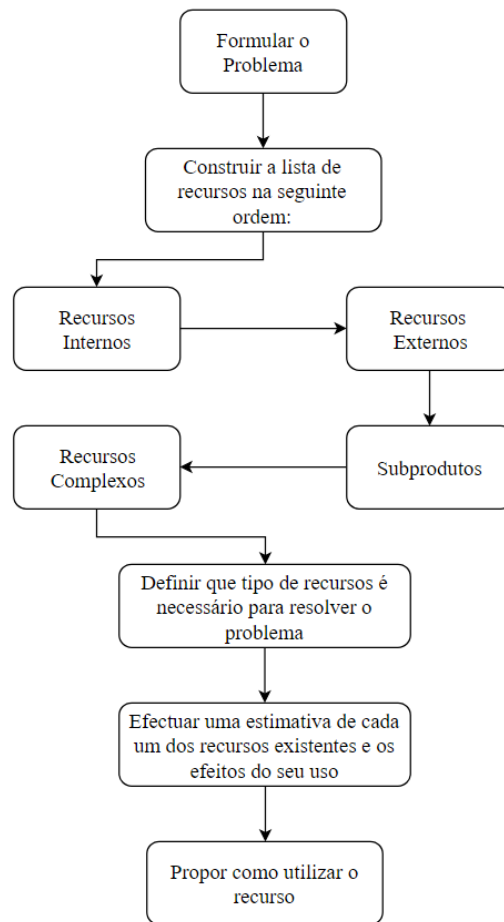


Figura 2.3 - Fluxograma de análise de recursos, retirado de [21]

2.2.3 Ferramentas e Técnicas

2.2.3.1 Princípios de invenção e matriz de contradições

As contradições técnicas podem ser resolvidas com recurso aos 40 princípios de invenção, tabela 2-3, explorados em detalhe no anexo B, estes princípios tem como base o conhecimento adquirido por Altshuller, no seu estudo sobre as patentes [11].

Os 40 princípios de invenção são utilizados em conjunto com a matriz de contradições e os 39 parâmetros de engenharia, para resolver as contradições técnicas. Os 39 parâmetros de engenharia/técnicos, tabela 2-2, sendo mais explorados no anexo B, definem quais as características que se pretendem melhorar e aqueles que podem ter um efeito prejudicial no sistema. A matriz de contradições, anexo C, contem nas linhas os parâmetros sobre os quais é realizada uma melhoria, nas colunas aqueles que são prejudicados na melhoria de outros e no cruzamento das linhas com as colunas encontram-se os princípios inventivos a serem utilizados na resolução da contradição [12].

Tabela 2-2 - 39 Parâmetros de engenharia/técnicos, adaptado de [19]

Parâmetros de engenharia/técnicos			
1	Peso (móvel)	21	Potência
2	Peso (imóvel)	22	Perda de energia
3	Comprimento (móvel)	23	Perda de massa
4	Comprimento (imóvel)	24	Perda de informação
5	Área (móvel)	25	Perda de tempo
6	Área (imóvel)	26	Quantidade de matéria
7	Volume (móvel)	27	Fiabilidade
8	Volume (imóvel)	28	Precisão de medida
9	Velocidade	29	Precisão de fabrico
10	Força	30	Fatores prejudiciais que atuam sobre o objeto
11	Tensão, pressão	31	Efeitos colaterais prejudiciais
12	Forma	32	Manufaturabilidade
13	Estabilidade do objeto	33	Conveniência de uso
14	Resistência	34	Reparabilidade
15	Durabilidade (móvel)	35	Adaptabilidade
16	Durabilidade (imóvel)	36	Complexidade do dispositivo
17	Temperatura	37	Complexidade no controlo
18	Clareza	38	Nível de automação
19	Energia dispensada (móvel)	39	Produtividade
20	Energia dispensada (imóvel)		

Tabela 2-3 - 40 Princípios inventivos, adaptado de [19]

Princípios inventivos			
1	Segmentação	21	Urgência
2	Extração	22	Conversão de prejuízo em proveito
3	Qualidade local	23	Retroação
4	Assimetria	24	Mediação
5	Combinação	25	Autosserviço
6	Universalidade	26	Imitação
7	Nidificação	27	Objeto económico com vida curta em vez de outro dispendioso e durável
8	Contrapeso	28	Substituição do sistema mecânico
9	Contra-acção prévia	29	Utilização de pneus pneumáticos ou hidráulicos
10	Ação prévia	30	Películas flexíveis ou membrana fina
11	Amortecimento prévio	31	Utilização de materiais porosos
12	Equipotencialidade	32	Mudança de cor
13	Inversão	33	Homogeneidade
14	Esfericidade	34	Rejeição e regeneração de componentes
15	Dinamismo	35	Transformação do estado físico ou químico
16	Ação atenuada ou acentuada	36	Mudança de fase
17	Mudança para uma nova dimensão	37	Expansão térmica
18	Vibração mecânica	38	Utilização de oxidantes externos
19	Ação periódica	39	Ambiente inerte
20	Ação continua	40	Materiais compósitos

Uma forma de utilizar a matriz de contradições, foi descrita por Savransky [16], que se baseia nas seguintes etapas:

1. Designar a etapa;
2. Definir a função principal da técnica;
3. Definir os principais subsistemas da técnica e as suas respectivas funções primárias e secundárias;
4. Descrever o funcionamento da técnica;
5. Determinar as características que devem ser melhoradas e as características que devem ser eliminadas;
6. Reformular as características anteriores como parâmetros de engenharia;
7. Reformular as contradições técnicas da seguinte forma: se o parâmetro de engenharia positivo “A” for melhorado, a característica “B” é piorada;

8. Formular as contradições técnicas da seguinte forma: se o parâmetro de engenharia negativo “X” for implementado então o parâmetro de engenharia positivo “Y” será piorado ou outra característica negativa será intensificada;
9. Encontrar as células na matriz de contradições que correspondem às duas contradições referidas nas duas alíneas anteriores;
10. Recorrendo à matriz, procurar as soluções para o conflito entre dois parâmetros;
11. Aplicar os princípios inventivos que se encontram nessas células ao problema em questão;
12. Encontrar, avaliar e implementar soluções conceptuais para o problema;

2.2.3.2 Princípios de separação

Os princípios de separação são utilizados para a compreensão e resolução de contradições físicas. Estes princípios são os seguintes [22]:

1. Separação em tempo – Os requisitos em conflito encontram-se em ação durante diferentes períodos;
2. Separação em espaço – Uma solução encontra-se num local e outra num diferente;
3. Separação em condição – As soluções manifestam-se sob condições diferentes;
4. Separação por escala ou por mudança para um subsistema ou supersistema;

Cada princípio de separação, está associado a um conjunto de princípios inventivos, que devem ser utilizados para a sua resolução, como representado na tabela 2-4.

Tabela 2-4 - Princípios de Separação e correspondentes Princípios Inventivos, retirado de [23]

Princípio de Separação	Princípio Inventivo
Tempo	1, 7, 9, 10, 11, 15, 16, 18, 19, 20, 21, 24, 26, 27, 29, 34, 37
Espaço	1, 2, 3, 4, 7, 13, 14, 17, 24, 26, 30, 40
Condição	28, 29, 31, 32, 35, 36, 38, 39
Escala	1, 3, 5, 6, 8, 12, 13, 22, 23, 25, 27, 33, 40

2.2.3.3 Análise Substância-Campo

A Análise Substância-Campo (ASC), proveniente do inglês *SuField Analysis*, é uma ferramenta analítica presente na TRIZ, utilizada para a identificação e resolução de problemas em sistemas técnicos e tecnológicos, quer se trate de um sistema novo ou de um já existente. Oferece a possibilidade de modelar um sistema através de uma abordagem gráfica simples, identificar problemas e oferecer soluções padronizadas para a melhoria do sistema em estudo [24]. A ASC sustenta um sistema, desenhado para desempenhar uma determinada função, podendo ser

representado por triângulos, cujos vértices representam “substâncias” (componentes, objetos, entre outros) e “campos” (ações ou interações). Uma “substância” pode representar um sistema completo, como um carro, ou parte de um sistema, um subsistema, como um componente de um carro, uma ferramenta, um material ou uma pessoa [25]. Um “campo” representa a energia que força a interação entre as “substâncias”. Esta energia pode ser de cinco tipos: mecânica (Me); térmica (T); química (Q); elétrica (E); magnética (Ma) [16]. Considera-se que um sistema a funcionar adequadamente pode ser representado por um triângulo completo “Substância-Campo”, composto por duas substâncias (S1 e S2) e por um campo (F), como representado na figura 2.4.

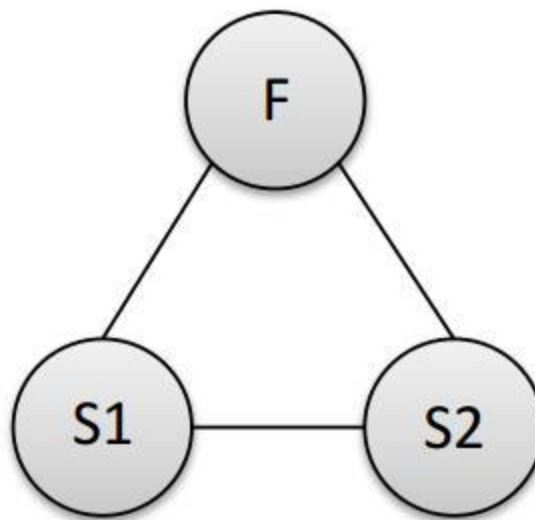




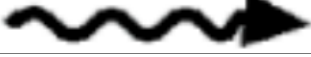
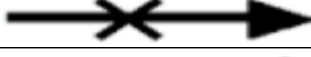





Figura 2.4 - Sistema completo, retirado de [25]

Um sistema complexo é representado por um conjunto de vários triângulos “Substância – Campo”. As “substâncias” S1 e S2, que participam nas interações podem ser de uma das seguintes naturezas: material, ferramenta, componente, pessoas e ambiente. Por sua vez o “campo” F, como já foi referido anteriormente, pode ser mecânico, térmico, químico, elétrico, magnético.

Uma substância ao atuar sobre uma outra, provoca um efeito, podendo este ser benéfico ou prejudicial. Esta interação é representada por diferentes tipos de linhas com significados distintos. Na tabela 2-5 está representada a simbologia utilizada na Análise Substância – Campo.

Tabela 2-5 - Simbologia utilizada na análise substância – campo, retirado de [26]

Simbologia	Significado
	Conexão (Normal)
	Ação ou efeito desejado
	Inatividade
	Ação ou efeito desejado insuficiente
	Ação ou efeito prejudicial
	Quebra de conexão
	Operador se solução
	Interação
	Várias ações

É recomendado que esta ferramenta seja aplicada segundo quatro etapas [27]:

- Identificação dos elementos disponíveis – recolha de informação;
- Construção do diagrama “Substância-Campo” e identificação problemática;
- Escolha de uma das opções genéricas (soluções – padrão);
- Desenvolvimento de uma solução específica para o problema.

A representação “substância – campo” ajuda a centrar o estudo nos elementos mais importantes do sistema e a identificar um problema como pertencente a um determinado grupo. Um sistema considerado completo, representado na figura 2.4. Se não for completo, existe um problema, que poderá ser um dos seguintes problemas genéricos:

- Situação 1: O efeito desejado não ocorre, representado na figura 2.5, é necessário complementar o sistema, adicionando os elementos em falta;
- Situação 2: Ocorre um efeito prejudicial, representado na figura 2.6, é necessário eliminar o efeito negativo, com a criação de um novo campo com uma nova substância;
- Situação 3: Efeito desejado insuficiente (ineficiente), representado na figura 2.7, é preciso modificar as substâncias e o campo ou utilizar uma nova substância para criar o efeito desejado;

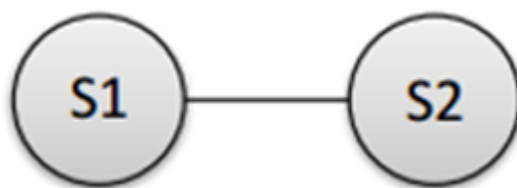


Figura 2.5 - Situação 1, retirado de [12]

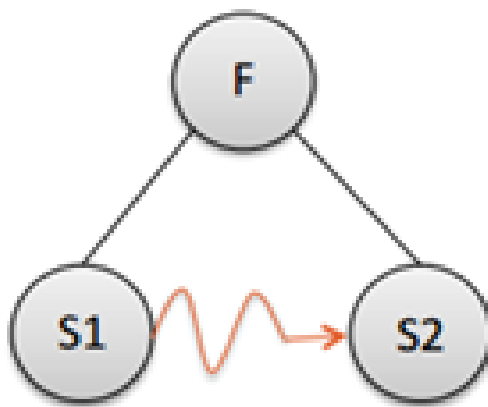


Figura 2.6 - Situação 2, retirado de [12]

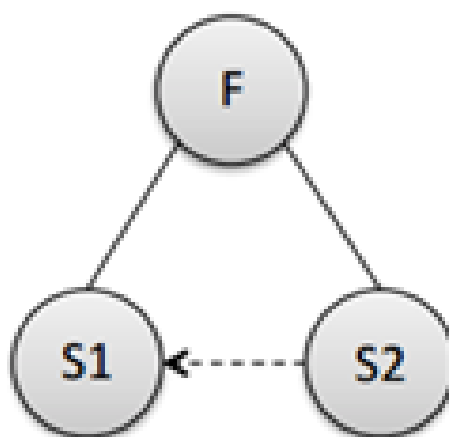


Figura 2.7 - Situação 3, retirado de [12]

Para complementar a análise substância – campo foram criadas setenta e seis soluções-padrão, encontram-se definidas no anexo D, que se encontram repartidas por cinco classes que pretendem auxiliar na procura pela solução adequada, após o processo de construção do sistema triangular descrito anteriormente [12], descritas na tabela 2-6.

Tabela 2-6 - Classes de Soluções-Padrão, adaptado de [26]

Classe	Descrição	Nº de Soluções-Padrão
1	Construção e destruição de modelos substância-campo	13
2	Desenvolvimento de um sistema substância-campo	23
3	Alteração de um sistema base para um supersistema ou para um subsistema	6
4	Soluções-padrão para detecção e medição	17
5	Introdução de substâncias ou campos dentro de um sistema técnico	17
Total		76

É possível sintetizar estas soluções-padrão em sete soluções-gerais [25]:

- Solução geral 1 – Complementar um modelo substância-campo que se encontra incompleto – figura 2.8;

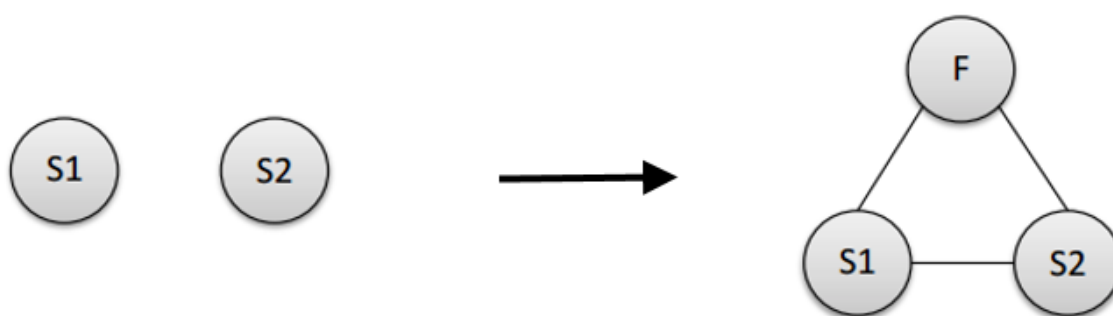


Figura 2.8 - Solução geral 1, retirado de [12]

- Solução geral 2 – Modificar a substância S2 de forma a eliminar/reduzir o impacto negativo ou para produzir/melhorar o impacto positivo – figura 2.9;

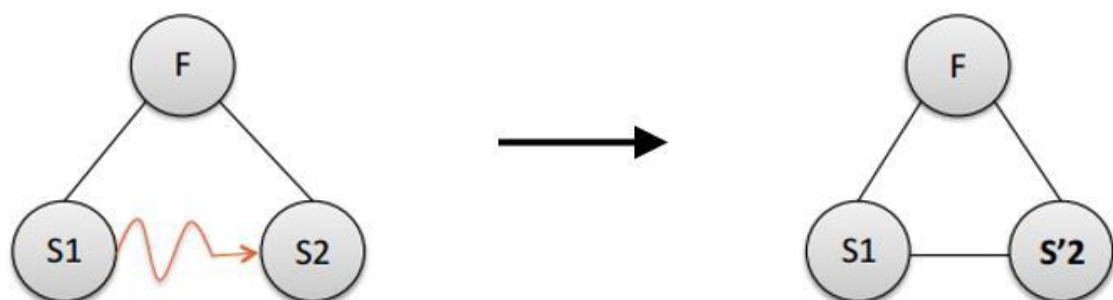


Figura 2.9 - Solução geral 2, retirado de [12]

- Solução geral 3 – Modificar a substância S1 para eliminar/reduzir o impacto negativo ou para produzir/melhorar o impacto positivo – figura 2.10;

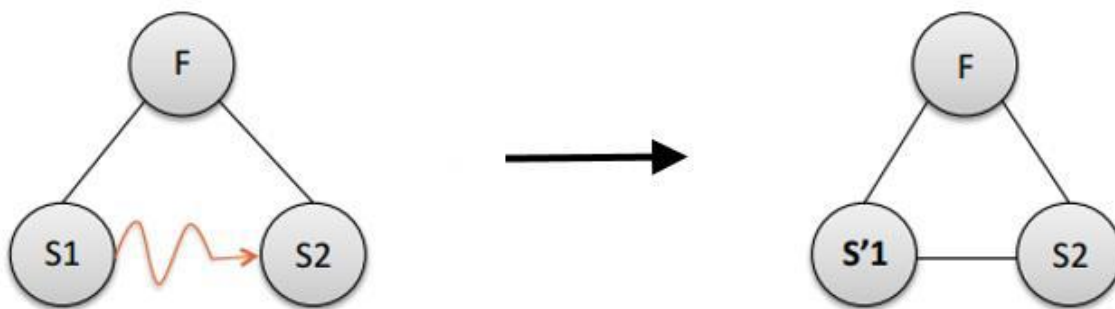


Figura 2.10 - Solução geral 3, retirado de [12]

- Solução geral 4 – Modificar o campo F com o intuito de eliminar/reduzir o impacto negativo ou produzir/melhorar o impacto positivo – figura 2.11;

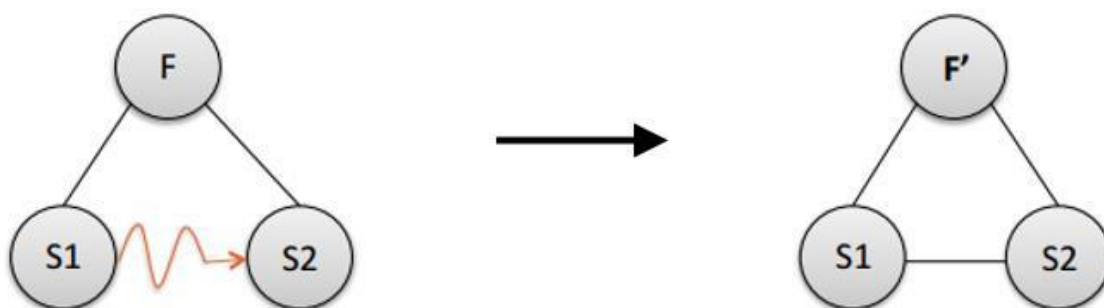


Figura 2.11 - Solução geral 4, retirado de [12]

- Solução geral 5 – Eliminar, neutralizar ou isolar o impacto negativo utilizando outro campo (Fx) que interaja com o sistema, sem que as substâncias e o campo sofram qualquer tipo de alteração – figura 2.12;

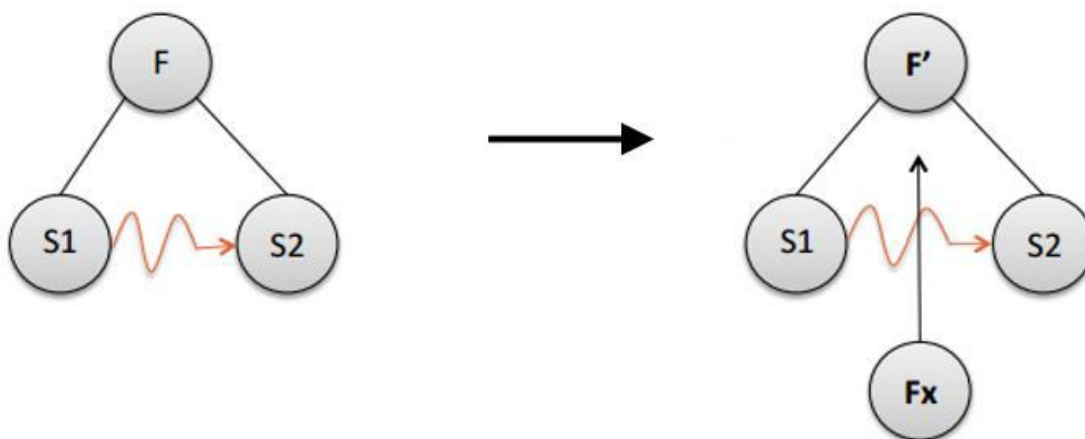


Figura 2.12 - Solução geral 5, retirado de [12]

- Solução geral 6 – Introduzir um novo campo positivo responsável por fazer interagir, em simultâneo, os dois campos com as duas substâncias, com o intuito de reduzir o efeito negativo existente – figura 2.13;

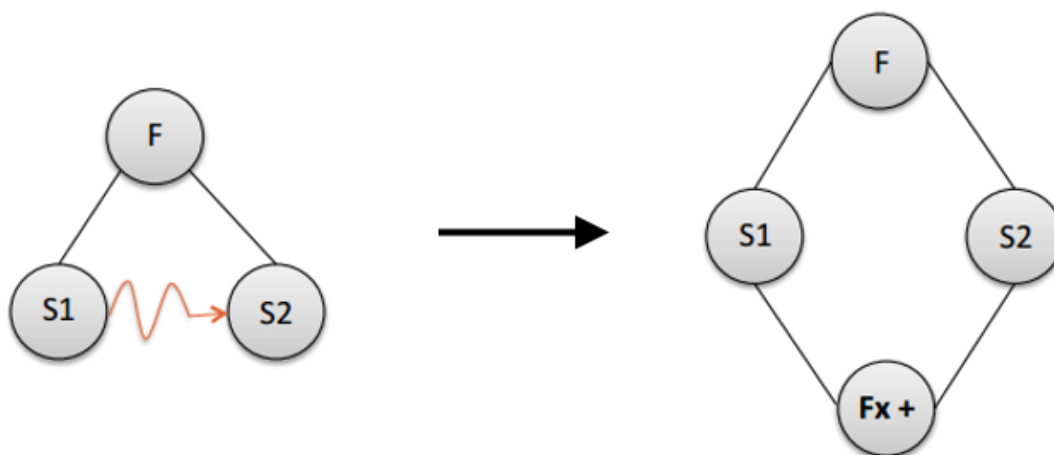


Figura 2.13 - Solução Geral 6, retirado de [12]

- Solução geral 7 – Expandir um modelo substância-campo existente para um novo sistema em cadeia – figura 2.14;

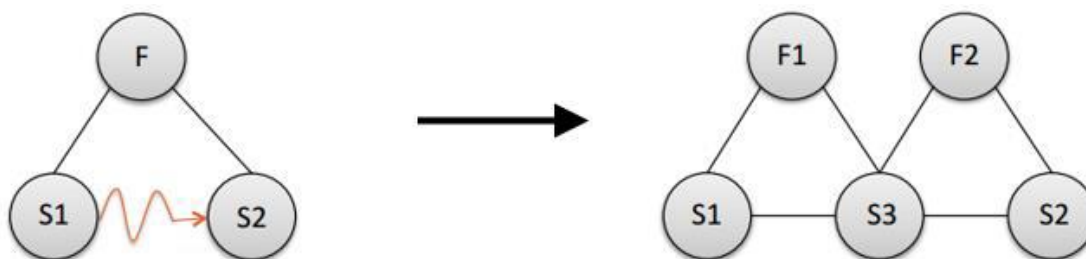


Figura 2.14 - Solução geral 7, retirado de [12]

2.2.3.4 ARIZ

O Algoritmo de Resolução Inventiva de Problemas (ARIZ) é uma ferramenta analítica presente na metodologia TRIZ. A TRIZ assume que o grau de dificuldade na resolução de um problema varia consoante a forma como este é formulado, isto é, quando mais clara for a sua formulação mais fácil será de resolver o problema [12]. Para responder a esta dificuldade foi criado o ARIZ, que coloca um grande ênfase na reformulação dos problemas com o objetivo de revelar a sua origem.

Este algoritmo tem como principal objetivo transformar, de forma lógica, uma situação inicial de um problema em conceitos de solução do mesmo. Baseando-se num processo lógico estruturado, que de forma incremental faz evoluir um problema complexo para um ponto que este se torna fácil de resolver. Para Altshuller, o ARIZ é especialmente apropriado para a resolução de problemas fora do comum, devendo ser utilizado para auxiliar o pensamento e não para o substituir [11].

Altshuller chamou, inicialmente, o ARIZ de “Esquema do Processo Criativo” ou de “Método Científico de Trabalho Criativo”, sendo que posteriormente o denominou de “Metodologia de Criatividade”. Desde a sua criação, o ARIZ, esteve constantemente em evolução, tendo sido complementado com novas técnicas e efeitos. Na sua versão mais recente, este algoritmo contém cerca de 100 passos. Nesta versão são contemplados operadores de análise e de resolução de problemas técnicos complexos que não poderiam ser resolvidos com recurso à aplicação individual de outras ferramentas da TRIZ [28].

Dois dos conceitos fundamentais da TRIZ, a contradição e a idealidade, são essenciais na estrutura do ARIZ. Como um problema tecnológico se transforma num problema inventivo quando, pelo menos, uma contradição tem de ser resolvida, um programa capaz de resolver este tipo de problemas tem de ter a capacidade de identificar e resolver as contradições [28].

Apesar da existência de diversas versões do ARIZ, todas elas contém as seguintes etapas [29]:

- Elaboração do enunciado do problema – O problema deve ser formulado sem o recurso a termos técnicos, porém deve ser incluído um sistema tecnológico para indicar a finalidade do mesmo e devem ser listadas as principais partes do sistema.
- Formulação das contradições – É necessário descrever as contradições técnicas com o mínimo de modificações do sistema, para indicar o resultado pretendido.
- Análise de conflitos – Os elementos em conflito incluem a peça que é o elemento que necessita de ser alterado e a ferramenta que é responsável por essa alteração. Devem ser contruídos modelos gráficos para as contradições técnicas, de modo a ilustrar o problema de forma simplificada, recorrendo a ferramentas do TRIZ como é o caso da Análise Substância-Campo.
- Métodos de eliminação das contradições – Nesta etapa, o problema deve ser formulado e os elementos que se encontram em conflito identificados. Se na fase anterior foi empregue a análise substância-campo, em que se têm as 76 soluções-padrão, que se apoiam na eliminação das contradições existentes, nesta fase pode ser utilizada a matriz das contradições, em que estão contemplados os 40 princípios inventivos que apresentam diversas soluções para a resolução dos problemas existentes.
- Formulação da solução ideal (ou reformulação do enunciado de problema) – A última fase consiste na formulação do problema em termos do Resultado Final Ideal (RFI), tendo em conta que é considerada uma solução RFI, no caso de se obter uma característica benéfica ou a eliminação de uma característica

prejudicial sem a degradação de outras ou a criação de mais efeitos prejudiciais. De seguida o RFI é transformado em contradição física mais pormenorizada e a sua eliminação baseia-se em três princípios:

- Separação temporal das propriedades antagónicas;
- Separação espacial das propriedades antagónicas;
- Separação das propriedades antagónicas por redistribuição das mesmas no interior do sistema.

Por fim, se não for encontrada nenhuma solução deverá ser realizada uma reformulação do problema e realizar as etapas anteriores novamente.

Na figura 2.15, encontra-se representado um fluxograma simplificado das etapas constituintes do ARIZ.

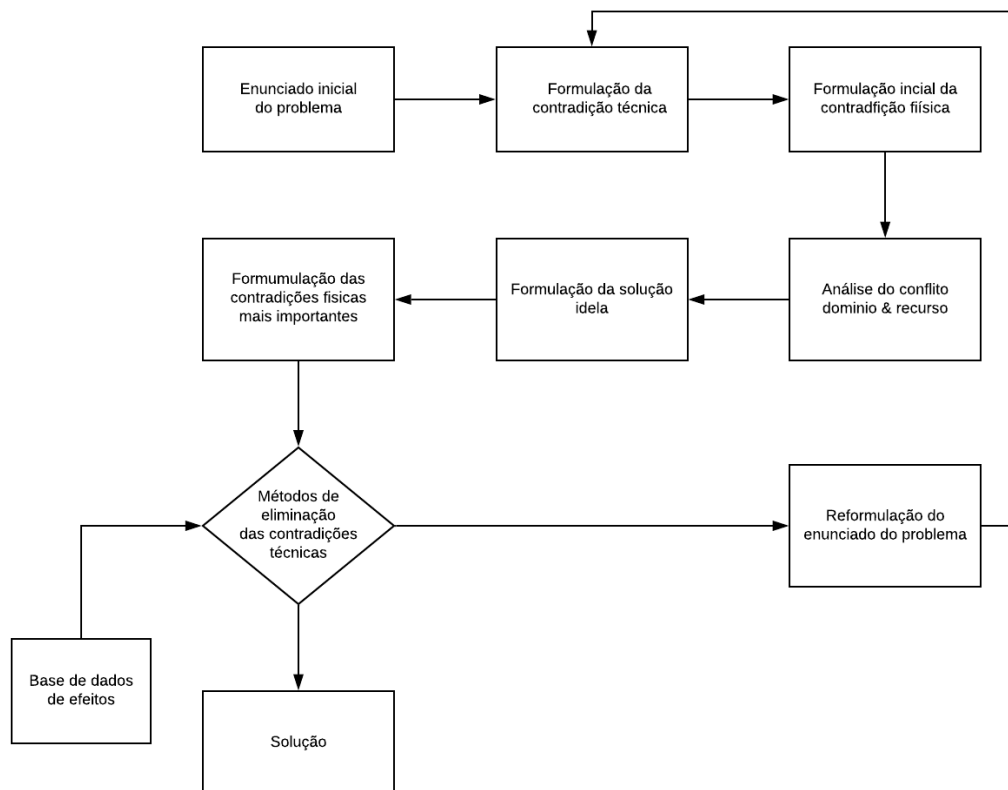


Figura 2.15 - Fluxograma simplificado do ARIZ, adaptado de [29]

2.3 Utilização conjunta de Teoria Axiomática de Projeto e TRIZ

2.3.1 Introdução

Nas últimas décadas, têm-se verificado um crescente interesse, em se desenvolver uma metodologia que consiga ligar, a TA de projeto e a TRIZ. Em que a primeira irá analisar e estruturar o problema com as suas ferramentas e por fim a TRIZ, devido à sua grande capacidade resolução de problemas, é utilizada para resolver as contradições existentes [30].

Apesar, de os dois métodos terem aplicações diferentes, a TA, facilita a estruturação do projeto e de a TRIZ, fornecer a capacidade de resolução de problemas [27].

2.3.2 Aplicação da TRIZ em modelo de Teoria Axiomática de Projeto

2.3.2.1 Modelo de aplicação

Um dos grandes pontos fortes da TA, é a capacidade que dá aos projetistas de estruturar os problemas, através do sistema de ziguezague e da criação das matrizes de projeto. Portanto, fornece uma ferramenta que torne possível o desacoplamento do projeto. Este ponto fraco, pode ser resolvido com a utilização das ferramentas da TRIZ, pois esta tem como ponto forte a resolução criativa de problemas [31].

A TRIZ contém um elevado número de ferramentas, que proporcionam diferentes alternativas para se alcançar a solução, o que por vezes dificulta a sua aplicação. Uma hipótese para reduzir as alternativas para se alcançar a solução é a utilização conjunta da TRIZ e da TA. Pois permite a utilização das ferramentas da TRIZ, para realizar o desacoplamento da matriz de projeto e fazer os parâmetros de projeto satisfazer as restrições de projeto, considerando que o problema se trata de uma contradição e de seguida realizar uma análise para concluir que tipo de contradição existe e por fim utilizar as ferramentas da TRIZ para a sua resolução [31]. A figura 2.16 mostra esquematicamente o funcionamento da aplicação da TRIZ num modelo da TA.

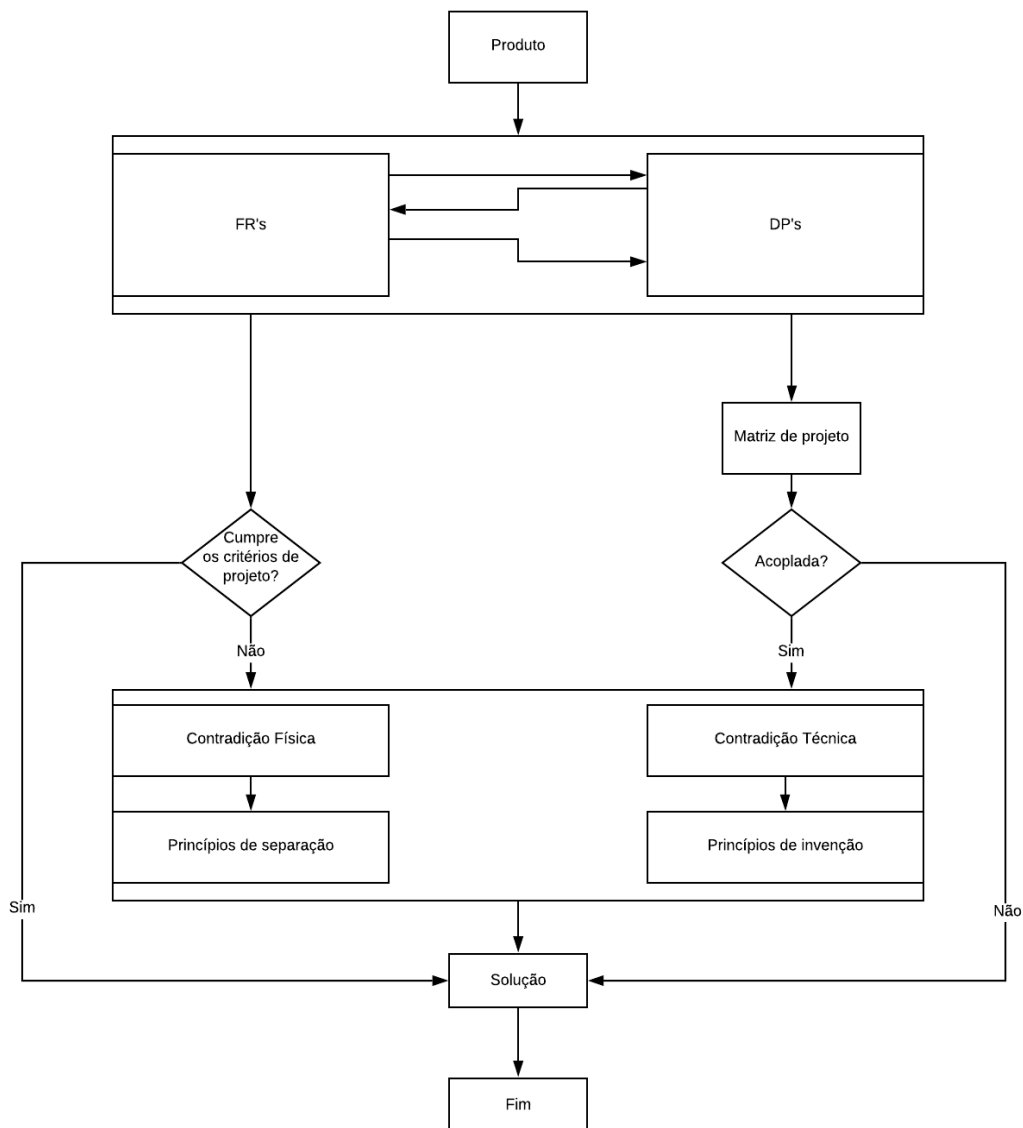


Figura 2.16 - Aplicação da TRIZ num modelo da TA, adaptado de [32]

Neste sistema, primeiramente deve-se criar a matriz de projeto, como explicado no capítulo 2.1. Após esta construção deve-se analisar a matriz e caso se alcance uma matriz desacoplada ou desacoplável e que cumpra todas as restrições, este é o projeto ideal, do ponto de vista da TA e não deve sofrer alterações. Caso se chegue a uma matriz acoplada, deve-se considerar o acoplamento um conflito técnico ou físico, dependendo do caso e aplica-se as ferramentas existentes na TRIZ, para eliminar estas contradições, como estudado no capítulo 2.2. Se a matriz alcançada for desacoplada ou desacoplável, mas se os parâmetros de projeto não cumprem com as restrições de projeto, considera-se, novamente, que se trata de um conflito técnico ou físico, e se deve tratar, dependendo do caso, como estudado no capítulo 2.2, para se proceder à sua eliminação.

2.3.2.2 Exemplo de aplicação

Existem diversas aplicações deste método na literatura, uma destas é a melhoria, na velocidade de produção, de uma máquina de papel [32], representada na figura 2.17

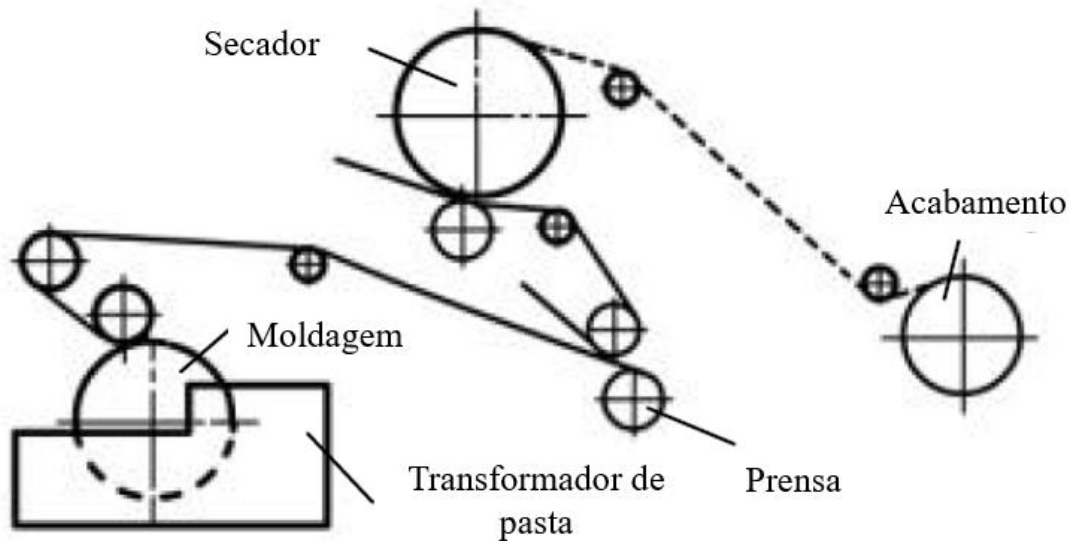


Figura 2.17 - Esquema de máquina de papel, adaptado de [32]

Tendo a máquina, atualmente existente, os seguintes requisitos funcionais e parâmetros de projeto [32], representados esquematicamente na figura 2.18, os FR's e figura 2.19 os DP's :

FR: Fazer Papel	DP: Máquina de Fazer Papel
FR1: Transporte da Pasta de Papel	DP1: Transportador
FR2: Formação de Papel Molhado	DP2: Máquina de Moldagem
FR3: Retirar a Água do Papel	DP3: Prensa
FR4: Secagem do Papel	DP4: Secador

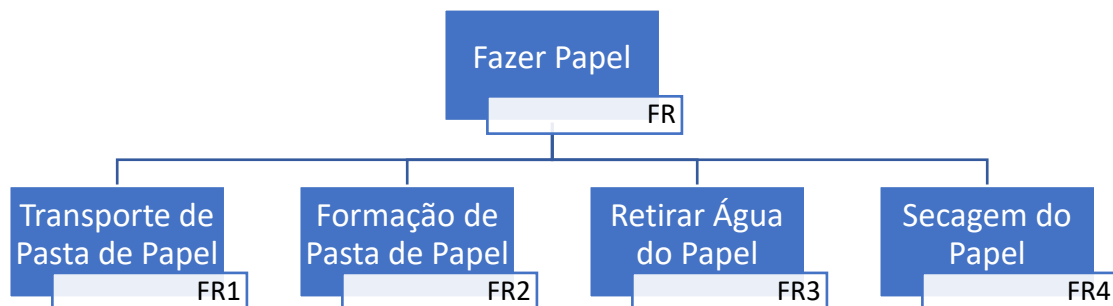


Figura 2.18 - FR's da máquina de papel

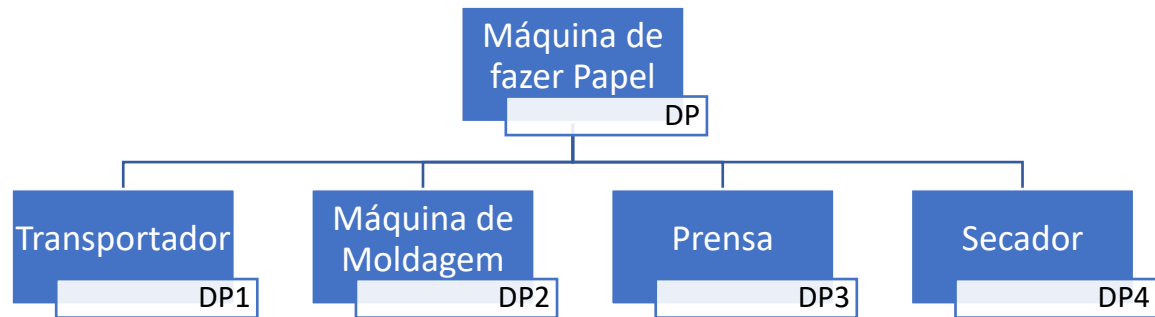


Figura 2.19 - DP's da máquina de papel

Dos quais resulta a matriz de projeto, representada na equação 5 [32].

$$\begin{pmatrix} FR_1 \\ FR_2 \\ FR_3 \\ FR_4 \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} DP_1 \\ DP_2 \\ DP_3 \\ DP_4 \end{pmatrix} \quad (5)$$

Como se pode observar esta é uma matriz triangular, tratando-se assim de um projeto desacoplável, respeitando o axioma da independência. Mas tendo a restrição de aumento de velocidade, é necessário realizar alterações à máquina. Aqui encontra-se um dos pontos fracos, da TA, a não existência de ferramentas, para se resolver os problemas, como o não cumprimento das restrições. Que é um dos pontos fortes da TRIZ.

O aumento de velocidade de produção, afeta todos os DP's, mas na aplicação deste exemplo apenas foi considerado o seu efeito sobre máquina de moldagem e sobre o secador. Na máquina de moldagem, o problema é criado quando a velocidade ultrapassa um valor crítico e provocando um aumento das forças centrífugas, fazendo com que a pasta se desvie e possivelmente sair da máquina, não sendo possível, desta forma, a moldagem de todo o papel. No secador, o aumento de velocidade provoca que o tempo de passagem, do papel por este, seja realizada de forma demasiado rápida, para se verificar uma correta secagem do papel [32].

No melhoramento da máquina de moldagem, é verificada a existência de uma contradição técnica. Por isso, para a sua resolução são utilizados os princípios de invenção. A explicação do problema segundo os parâmetros de engenharia é: Como aumentar a velocidade de produção, sem provocar a perda de massa. A matriz de contradições diz-nos que esta contradição pode ser resolvida, utilizando os seguintes princípios inventivos:

- 10 – Ação prévia – Colocar os componentes, previamente, para que o processo ocorra da forma mais conveniente possível;

- 13 – Inversão – Inverter as ações dos componentes para resolver o problema;
- 28 – Substituição do sistema mecânico – Alterar a forma de interação entre os componentes;
- 38 – Utilização de oxigenantes energéticos – Enriquecer o ar, ambiente, com oxigênio

Os pontos 10 e 28, preveem um recomeço do projeto, sendo dessa forma, mais eficazes de se eliminar a contradição. Para cumprir o ponto 10, é necessário prever uma forma de manter na máquina de moldagem a pasta de papel, como aumentar a pressão atmosférica na parte exterior da máquina ou diminuir a pressão na parte interior, assim, cria-se um diferencial de pressão positivo, no exterior, fazendo com que a pasta de papel se mantenha na máquina. O ponto 28 recomenda a alteração do sistema de interação entre os componentes, como por exemplo criar uma carga positiva, pasta de papel, que criará um campo eletromagnético, que contrarie a força centrífuga, mantendo-a no interior da máquina [32].

Para efetuar o melhoramento do secador de papel, é verificada novamente uma contradição técnica. O problema enunciado segundo os parâmetros de engenharia é: Como aumentar a velocidade do sistema sem aumentar a complexidade do mesmo. Pois é possível aumentar o diâmetro do secador, para aumentar o tempo de passagem da pasta de papel. Mas aumenta a complexidade da máquina [32]. Para a resolução desta contradição, são aconselhados os seguintes princípios inventivos:

- 4 – Assimetria – Alterar a forma do objeto, retirar a simetria do componente, se este for assimétrico, alterar o grau de assimetria;
- 10 – Ação prévia – Colocar os componentes, previamente, para que o processo ocorra da forma mais conveniente possível;
- 28 – Substituição do sistema mecânico – Alterar a forma de interação entre os componentes;
- 34 – Rejeição e regeneração dos componentes – Alterar parte dos componentes para melhorar a eficácia de processos.

Novamente, os princípios inventivos que aconselham um recomeço ao projeto, que neste caso são os pontos 10 e 34, terão uma maior eficácia, na resolução do problema. O princípio 10, aconselha que se realize uma ação prévia, neste caso uma secagem prévia, que pode ser cumprida com recurso a um secador a ar, ou um secador com recurso a infravermelhos. O princípio 34, recomenda a uma alteração nos componentes, que pode ser alcançada através da aplicação de um revestimento, no cilindro do secador, que seja um bom condutor de calor, para ajudar a realizar a transferência de calor, para a pasta de papel.

A aplicação detalhada deste método, através deste exemplo, foi apresentada por Ruihong et al. [32].

2.3.3 Aplicação de Teoria Axiomática de Projeto em um modelo da TRIZ

2.3.3.1 Modo de aplicação

Apesar deste método não estar estudado ao mesmo nível, que a aplicação da TRIZ num modelo da TA, existem na literatura algumas aplicações, do mesmo.

Este método, baseia-se na aplicação do modelo geral da TRIZ, apenas com a aplicação da TA, para verificação do cumprimento dos seus axiomas, em especial o primeiro axioma e a consequente alteração do sistema para o mesmo, ficar de acordo com os axiomas. Como se pode verificar na figura 2.20.

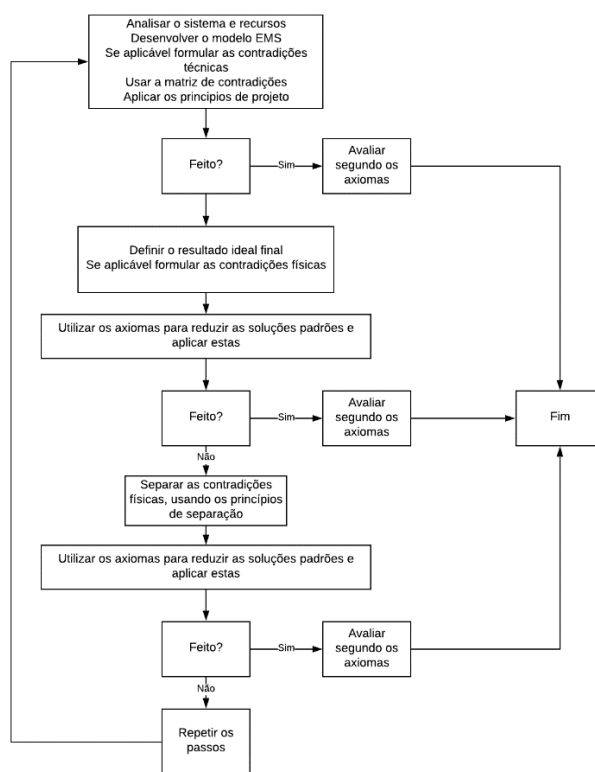


Figura 2.20 - Aplicação da TRIZ com apoio da TA, adaptado de [31]

Para aplicar este método deve-se seguir os seguintes passos [31]:

1. Analisar o problema, usando a análise Substancia-Campo, de modo a clarificar o problema e definir quais as contradições existentes e qual o seu tipo. Nesta fase deve ser definido qual será o resultado ideal;

2. Se existir, no sistema, uma contradição técnica, esta deve ser resolvida, com recurso às ferramentas adequadas. Se for possível resolver o conflito, é alcançado o resultado ideal. Devendo, este, ser analisado segundo a TA, para garantir o cumprimento dos seus axiomas;
3. Se não for possível eliminar a contradição técnica, deve-se proceder à reformulação do resultado ideal, de modo, a que a contradição seja física, em vez de técnica e aplicar as ferramentas adequadas, para a sua resolução. Se for alcançada a resolução, avaliar a solução segundo os axiomas, da TA;
4. Se não for possível alcançar ainda o resultado ideal, deve-se recommençar o primeiro passo, de forma a verificar se o problema, foi definido corretamente, assim como se foram resolvidas as contradições corretas. Por fim, deve-se repetir este processo até se alcançar o resultado ideal.

Durante este processo, deve ser utilizada a TA, para reduzir o número de soluções, a analisar.

2.3.3.2 Exemplo de aplicação

Apesar do seu nível de estudo, existem alguns exemplos de aplicação deste método, por exemplo o projeto de um disco rígido mecânico [31]. Um dos grandes problemas deste tipo de equipamento, que acontece quando disco não se encontra em uso e sofre um choque. Podendo provocar o movimento da agulha magnética, responsável pela leitura dos dados, fazendo a perda de informação presente no disco.

Na solução atual a agulha é segura, com recurso a um trinco magnético. Quando o disco, entra em funcionamento, este inicia um movimento de rotação, provocando movimento de ar, que levanta a agulha e um eletroímã, leva a que a agulha se solte do trinco magnético, guiando, a mesma, à posição onde se encontra gravada a informação necessária [31]. Para impedir que a agulha danifique o disco quando acontece um impacto, o campo magnético, criado pelo trinco deve ser forte o suficiente, para que a agulha não entre em contacto com a superfície do disco. Mas deve ser fraco o suficiente, para que quando o disco entre em funcionamento, a força criada pelo eletroímã, seja capaz de soltar a agulha. Desta forma, existe uma contradição física.

Que poderá ser resolvida com recurso aos princípios de separação, como explicado no capítulo 2.2.

A aplicação detalhada deste método, através deste exemplo está apresentada em [31].

2.4 Brainstorming

2.4.1 Introdução

Apresentado por Alex Osborn, em 1953, um executivo na área do *marketing*. O *Brainstorming* é uma das mais conhecidas técnicas, para a resolução criativa de problemas. Sendo útil quando o objetivo é alcançar-se o maior número de ideias possíveis, para a resolução de problemas.

Ao ser utilizar o *Brainstorming*, está a seguir-se um conjunto de regras e técnicas, criadas para estimular a criação de novas ideias, que em circunstâncias normais dificilmente aconteceriam [33]. Todas as ideias contam, é neste ideal em que o *Brainstorming* se baseia. Todas as ideias, por muito pouco usuais que sejam devem ser consideradas, pois estas poderão originar uma boa ideia, seja resultado de uma evolução desta ou através de uma associação com uma outra [34]

2.4.2 Tipos de *Brainstorming*

2.4.2.1 *Brainstorming* em grupo

Este tipo de *Brainstorming*, quando utilizado eficazmente, é uma ferramenta que permite retirar o máximo de experiência e de criatividade, dos membros do grupo. Quando um dos participantes está bloqueado numa ideia, a criatividade e experiência de um dos outros membros do grupo poderá fazer evoluir a mesma. Conseguindo assim desenvolver as ideias, a um nível de maior detalhe, que *Brainstorming* individual [35].

Para um uso eficaz do *Brainstorming*, é necessário seguir um conjunto alargado de passos [35], que serão descritos de seguida:

1. Encontrar uma zona de reuniões e prepará-la;
2. Juntar participantes, das mais variadas especialidades e com diferentes níveis de experiência. O que trará mais ideias criativas;
3. Fazer uma breve descrição do problema, o líder deve tomar controlo da sessão. Primeiramente definindo o problema que deve ser resolvido e os critérios que devem ser respondidos. Por fim dá-se início à sessão;
4. Escolher uma pessoa para anotar as ideias, que resultam da sessão, num formato que seja facilmente perceptível por todos os participantes;
5. Escrever a descrição do problema, onde esta pode ser vista por todos. Auxiliando a manter o grupo dedicado, na resolução do problema;
6. Apoiar uma atitude entusiástica e sem críticas entre os participantes e encorajar a participação de todos os membros;
7. Utilizar exercícios de preparação para “quebrar o gelo” entre os participantes;

8. Descrever o problema a resolver, o mais claramente possível, assim com os critérios a alcançar. Certificar que todos saibam que o objetivo é alcançar o máximo de ideias possível;
9. Dar bastante tempo aos participantes, para estes chegarem ao máximo de ideias possível;
10. Pedir aos membros que partilhem todas as ideias a que alcançaram. Assegurando que todos tem a sua oportunidade;
11. Pedir que seja desenvolvidas as ideias partilhadas, ou que utilizem estas para chegarem a novas ideias;
12. Garantir que não existam críticas, nem avaliações de ideias. O criticismo cria um elemento de risco, quando os membros estão a partilhar as suas ideias;
13. Anotar todas as ideias, incluindo as mais extravagantes. Não interpretar as ideias, mas podendo ser rescritas para as tornar mais claras;
14. Encorajar o máximo de ideias possíveis;
15. Não avaliar as ideias, até se chegar à fase de avaliação;
16. Não censurar qualquer ideia, mesmo as mais básicas (Estas podem levar à criação de ideias mais criativas);
17. Quando todas as soluções estiverem anotadas, passar para a fase de avaliação, para determinar qual a melhor para resolver o problema.

Osborn, estabeleceu quatro regras, que visam diminuir as inibições sociais entres os membros da equipa e estimular a criação de ideias, assim como aumentar o nível de criatividade [34]:

- Sem críticas: O criticismo de ideias é contido, durante a sessão de *Brainstorming*. Como o objetivo é se gerar as mais variadas e pouco usuais e aprofundá-las, a crítica a estas seria contraprodutivo e permite que os participantes se sintam mais confortáveis a partilhar essas ideias;
- Ideias pouco usuais são bem-vindas: diferentes maneiras de pensar e olhar o mundo, podem providenciar melhores soluções;
- Quantidade é procurada: quanto maior o número de ideias geradas, maior a probabilidade de se alcançar uma solução eficaz;
- Melhorar e combinar ideias: não é só a variedade de ideias que se procura, mas também a capacidade de as combinar, entre si, para se alcançar uma melhor.

2.4.2.2 *Brainstorming* individual

Brainstorming não é apenas possível se realizar em grupo, podendo também realizar-se individualmente. Deste modo, não existe a preocupação sobre as opiniões das outras pessoas, permitindo uma libertação da pessoa, tornando-a mais criativa [33].

Enquanto que *Brainstorming* em grupo é, habitualmente, uma melhor ferramenta para se chegar a ideias, que outras ferramentas para solução de problemas em grupo. Diversos estudos demonstraram que o *Brainstorming* individual consegue obter melhores resultados, em comparação com o *Brainstorming* em grupo [36]. O que estará relacionado com a inibição que pode ser produzida nos participantes, quando as regras estabelecidas não são cumpridas.

Apesar disso, devido a uma pessoa sozinha não ter a variedade de experiência que um grupo alargado de pessoas têm, não é possível aprofundar tanto uma ideia. O *Brainstorming* individual obtém melhores resultados quando se pretende resolver um problema simples. Enquanto que para problemas mais complexos será melhor utilizar *Brainstorming* em grupo [36].

2.5 Métodos de tomada de decisão multicritério

2.5.1 Introdução

Os métodos de Análise de Decisão Multicritério (MCDA - *Multiple Criteria Decision Analysis*), também conhecido como Métodos Multicritério de Tomada de Decisão (MCDM – *Multiple Criteria Decision Making Methods*), são os termos genéricos que identificam os métodos de tomada de decisão, que utilizam mais que de um critério [37].

O primeiro destes métodos foi desenvolvido por Benjamin Franklin. Este era um método bastante simples, em relação aos utilizados atualmente e baseava-se na escrita dos pontos a favor de uma decisão em metade de uma folha e na outra metade os pontos contra da decisão. De seguida, devem-se eliminar os pontos fortes e fracos com igual importância, por fim o lado da folha com mais pontos escritos é a melhor decisão. Apesar deste ser o primeiro destes métodos, os mais atuais são derivados de metodologias desenvolvidas durante e após a segunda guerra mundial[38].

2.5.2 Categorias

Os MCDM podem ser divididos em duas categorias os Métodos de Tomada de Decisão de Múltiplos Objetivos (MODM - *Multiple Objective Decision Making Methods*) e os Métodos de Tomada de Decisão de Múltiplos Atributos (MADM - *Multiple Attribute Decision Making Methods*) [39]. No primeiro método, as soluções não são predeterminadas, considerando que se deve tomar decisões ao longo do tempo, tentando maximizar a função objetivo. Enquanto que nos

MADM é avaliado um pequeno número de alternativas é avaliado numa série de atributos, normalmente difíceis de quantificar. A melhor decisão é tomada tendo em conta a comparação realizada entre os atributos [37].

Estes métodos facilitam a compreensão do problema e da decisão, promovem o envolvimento de todos os participantes e as decisões coletivas. Auxiliando assim a que se realize uma tomada de decisão mais eficiente, explícita e racional [39]. A escolha do método para cada problema, tem de ter em conta vários fatores, sendo o mais importante deles garantir a validade deste, isto é, garantir que é eficaz no problema em questão, devendo sempre ser de fácil compreensão e aplicação [40].

2.5.3 Métodos

Na literatura é possível encontrar diversos métodos de multicritério. Foi realizada em 2013 uma revisão para se poder resumir todos eles [41]. Desta revisão foram retirados onze diferentes métodos, foram sumarizados as suas vantagens e desvantagens, assim como a área onde estes são principalmente aplicados [37]. Na tabela 2-7 está apresentado o resultado do estudo.

Tabela 2-7 - Métodos Multicritério de decisão, retirado de[37]

Método	Vantagens	Desvantagens	Áreas de aplicação
Multi-Attribute Utility Theory (MAUT)	Tem em consideração a incerteza; pode incluir preferências	Necessita de muita informação; preferências têm de ser precisas.	Economia, finanças, atuarial, gestão de água, gestão energética, agricultura
Analytic Hierarchy Process (AHP)	Fácil de usar; mensurável; a estrutura em hierarquia pode facilmente ajustar-se a vários tipos de problemas: não requer muita informação.	Problemas com a interdependência entre os critérios e as alternativas; pode levar a problemas com inconsistências e priorização dos critérios.	Problemas de desempenho, gestão de recursos, estratégia e política empresarial, política pública, estratégia política e planeamento.
Cased-Based Reasoning (CBR)	Não requer muita informação; requer pouca manutenção; pode ser melhorado com o tempo; pode adaptar-se a alterações de ambiente.	Sensível a informação inconsistente; requer muitos casos.	Negócio, seguradoras de veículos, medicina e <i>design</i> de engenharia.
Data Envelopment Analysis (DEA)	Capaz de lidar com vários <i>inputs</i> e <i>outputs</i> ; eficiência pode ser analisada e quantificada.	Não consegue lidar com informação imprecisa; assume que todos os <i>inputs</i> e <i>outputs</i> são conhecidos.	Economia, medicina, utilitários, segurança na estrada, agricultura, retalho e negócio.
Fuzzy Set Theory	Permite <i>inputs</i> imprecisos; tem em consideração informação insuficiente.	Difícil de desenvolver; pode requerer várias simulações antes de ser utilizado.	Engenharia, economia, ambiente, social, medicina e gestão.
Simple Multi-Attribute Rating Technique (SMART)	Simples, permite qualquer tipo de técnica de ponderação; menor esforço por parte de quem toma a decisão.	O procedimento pode não ser conveniente, considerando o <i>framework</i> .	Ambiente, construção, transporte e logística, militar, problemas de produção e montagem.
Goal Programming (GP)	Capaz de lidar com problemas de larga-escala; pode produzir um número infinito de alternativas.	Normalmente necessita da combinação de um outro MCDM para pesar coeficientes.	Planeamento da produção, saúde, seleção de projetos, planeamento energético, gestão vida selvagem.
ELECTRE	Tem em consideração incerteza e imprecisão.	O processo e os resultados podem ser difíceis de explicar em termos leigos.	Energia, economia, ambiente, gestão de águas, problemas de transporte.
PROMETHEE	Fácil de aplicar; não necessita da suposição que os critérios são proporcionais.	Não identifica um processo claro de atribuir pesos.	Ambiente, gestão de águas, gestão, química, logística, energia e agricultura.
Technique for Order Preferences by Similarity to Ideal Solutions (TOPSIS)	Processo simples de aplicar; o número de passos a realizar é independente do número de atributos.	A aplicação das distâncias Euclidianas, não considera a correlação entre atributos; difícil de pesar e manter consistência no julgamento.	Gestão da Cadeia de Abastecimento, logística, manufatura, gestão e marketing, recursos humanos e gestão de recursos de água.

O método mais utilizado é o AHP, é um método de múltiplos atributos, que se baseia na comparação de pares que se apoia no julgamento de especialistas, para se realizar a escolha entre as diversas alternativas. Mas esta metodologia tem alguns problemas, que foram colmatados com

a criação da ANP (*Analytic Network Process*). Estas são aplicadas de forma semelhante, mas a criação do ANP generalizou a aplicação do AHP [37].

O AHP e ANP, são os mais utilizados devido a possuírem um número elevado de vantagens em relação a outros métodos de decisão multicritério, como por exemplo [42]:

- Possibilitam uma descrição realista do problema;
- Estruturam o processo de tomada de decisão;
- Consideram fatores quantitativos e qualitativos;
- Expressam claramente a importância relativa dos fatores;
- Suportam a tomada de decisão do grupo.

2.5.3.1 *Analytic Hierarchy Process (AHP)*

Com base na sua experiência, Thomas Saaty, desenvolveu o AHP, pois considerou que existia uma falta de metodologias perceptível e de fácil aplicação que permitisse a tomada de decisão em problemas complexos [43]. O AHP é um método de comparação quantitativo utilizado para a escolha da solução que melhor se enquadra no problema, através da comparação do desempenho de várias soluções em relação a critérios definidos. Esta metodologia é um processo sistemático na representação dos elementos de um problema hierarquicamente e apoia-se na capacidade dos seres humanos produzirem julgamentos relativos mais precisos, quando comparados aos julgamentos absolutos [44].

Para uma utilização correta do AHP, é necessário seguir os seguintes passos:

1. Decompõe-se o problema hierarquicamente, de forma a que sejam representados objetivos, os critérios, subcritérios e alternativas. Na figura 2.21 está representado esquematicamente este passo. Este passo é um dos mais importantes em todo o processo de tomada de decisão. É neste passo em que se obtém a relação que existe entre cada elemento [45].

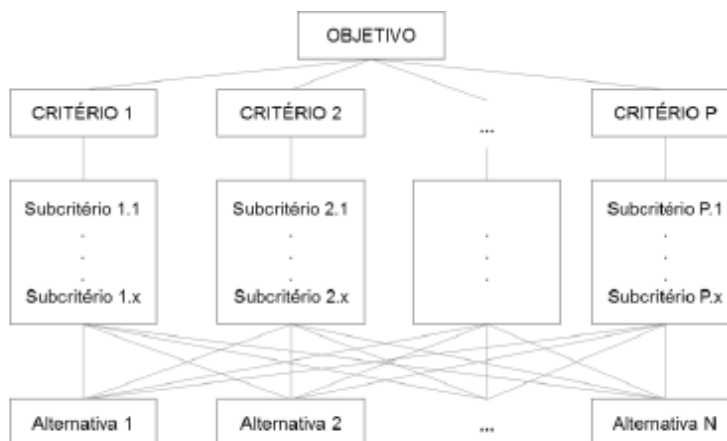


Figura 2.21 - Representação da hierarquia, retirado de [37]

As hierarquias devem ser detalhadas o suficiente para [45]:

- Representar o problema detalhadamente, mas não em demasia para não se perder a possibilidade de se alterarem elementos;
- Considerar o ambiente em que se encontra o problema;
- Identificar os atributos que contribuem para a solução;
- Identificar os participantes associados com o problema.

Desta forma é possível decompor o problema em partes cada vez mais pequenas e levar a uma decisão contruída através de diversas comparações par a par, conseguindo assim se verificar qual o impacto dos vários elementos na hierarquia. Saaty considera que para uma conclusão eficiente deste passo, deve-se comparar dois elementos face a uma única propriedade, sem ter em conta os restantes elementos. Os pares, devem ser compostos por elementos do mesmo nível hierárquico [45].

2. Com a informação conseguida no passo anterior, que é composta pela opinião dos indivíduos pertencentes à equipa responsável pela tomada de decisão. Para estruturar a comparação entre os elementos foi criada uma escala, representada na tabela 2-8, que relaciona a importância de ambos os elementos entre si [45].

Tabela 2-8 - Escala fundamental de Saaty, adaptado de [45]

Intensidade da Importância	Definição	Explicação
1	Igual Importância	Dois elementos contribuem igualmente para o objetivo
2	Fraca	
3	Moderada Importância	Experiência favorece ligeiramente um elemento face a outro
4	Mais Moderada	
5	Forte Importância	Experiência favorece fortemente um elemento face a outro
6	Muito Forte Importância	
7	Mais Forte	Experiência favorece muito fortemente um elemento face a outro; encontra-se demonstrada na prática
8	Muito Muito Forte	
9	Extrema Importância	Existem provas que favorecem um elemento face a outro na mais alta ordem possível

Nesta fase, cada elemento deve ser avaliado em relação ao nível hierárquico superior, desta forma devem ser avaliados os pesos de cada critério em relação ao objetivo, o peso de cada subcritério em relação aos critérios e a prioridade de cada alternativa em relação a cada critério ou subcritério. Para tal é utilizada a tabela 2-8, para se realizar a avaliação dos pares, cada avaliação deve ser realizada sem se considerar a existência de outros elementos [38].

3. Com os dados obtidos no ponto anterior, deve ser construído um conjunto de matrizes quadradas, preenchidas com os valores obtidos na comparação realizada. Deverá ser construída uma matriz com a comparação dos critérios entre si e uma por cada critério com a comparação entre alternativas, estas encontram-se representadas simbolicamente na figura 2.22. As linhas, representadas por i e as colunas, representadas por j , sendo atribuído o valor a_{ij} , a importância relativa entre elementos. Os valores na diagonal, da matriz, deverão ser sempre 1, devido a um elemento ter sempre a mesma importância em relação a si mesmo. Na comparação entre o elemento da linha i e o elemento da coluna j , aquele que tiver uma importância menor será considerado a base de comparação, assim o valor numérico de a_{ij} será superior a 1, de acordo com a escala de comparação. Quando é realizada a comparação inversa, a base de comparação, é o elemento de importância maior, sendo atribuído assim o valor de $\frac{1}{a_{ij}}$, a esta. Este é o atributo de reciprocidade entre elementos, que é considerado um dos mais importantes desta comparação [46].

$$A = \begin{matrix} & \begin{matrix} i \backslash j \\ E_1 & E_2 & \dots & E_n \end{matrix} \\ \begin{matrix} E_1 \\ E_2 \\ \vdots \\ E_n \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & & \\ a_{21} & 1 & & \\ & & \dots & \\ & & & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Figura 2.22 - Representação da matriz de comparação, retirado de [37]

4. De seguida, é calculado o vetor prioridade da matriz, para se conhecer a importância relativa de cada elemento, presente na comparação. Este vetor, mostra a importância

relativa de cada elemento para o objetivo do principal. Para calcular este vetor é necessário proceder-se à normalização da matriz, para tal segue-se os seguintes passos [37]:

1. Somar os valores de cada coluna;
2. Divisão de cada elemento de uma coluna pelas somas obtidas, na respetiva coluna, no passo anterior;
3. Soma dos elementos em cada linha normalizada e divisão dessa soma pelo número de elementos nessa linha. Estes valores finais fornecem uma estimativa das prioridades relativas dos elementos em comparação ao critério de controlo respetivo. Os vetores de prioridade devem ser calculados para todas as matrizes existentes.

A decisão final, deverá ser tomada tendo em conta a avaliação das alternativas em relação ao objetivo. Para se chegar a este resultado, deve ser realizada a média ponderada das importâncias de cada nível em relação ao nível superior. A alternativa que obtém uma média ponderada superior é aquela que segundo este método é a melhor alternativa.

5. A comparação, ponto 3, é realizada a partir de opiniões subjetivas, sendo assim é necessário verificar as inconsistências que podem existir. O que provocou a criação do rácio de consistência (CR), quando este é superior a 0.1, todas as opiniões devem ser revistas e o processo repetido. O rácio é calculado pela equação 6 [37]:

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (6)$$

O índice de consistência (CI), é obtido através da equação 7 [37]:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - N}{N - 1} \quad (7)$$

Sendo λ_{max} o vetor próprio da matriz e N a sua dimensão.

Para se obter o vetor próprio da matriz é necessário seguir os seguintes passos [37]:

1. Calcular o vetor das somas ponderadas, através da multiplicação de cada coluna da matriz pela importância do respetivo vetor prioridade;
2. Os elementos do vetor das somas ponderadas, devem ser divididos pela importância de cada critério, obtida no passo 3 para se calcular o vetor prioridade.
3. Calcular a média dos valores obtidos.

O índice aleatório (RI) representa o índice de consistência de uma matriz gerada com aleatoriedade, este poderá ter os valores representados na Tabela 2-8.

Tabela 2-9 - Valores de Índice Aleatório, retirado de [37]

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0.52	0.89	1.11	1.25	1.35	1.40	1.45	1.49

A tomada de decisão é habitualmente realizada por um grupo de indivíduos. Um dos grandes problemas nesta fase é se conseguir compatibilizar os julgamentos e opiniões de cada indivíduo, pertencentes ao grupo e agregá-las numa só [47]. Uma das grandes vantagens do AHP é a presença de ferramentas que facilitam a agregação de opiniões.

2.5.3.2 *Analytic Network Process (ANP)*

De modo a colmatar as falhas presentes no AHP, foi desenvolvido o ANP, tendo como base o AHP. Sendo que o ANP não realiza suposições sobre as relações de dependência entre os níveis hierárquicos [48], retira a limitação existente no AHP, de existir a necessidade de interação entre os elementos pertencentes aos níveis hierárquicos superiores e inferiores. Enquanto que o AHP, apenas considera a importância das alternativas pelos critérios, como, por vezes, é igualmente importante considerar a importância dos critérios através das alternativas [46], o que torna, nestes casos, o AHP inutilizável, mas com a criação do ANP, desenvolveu-se uma alternativa viável.

Desenvolvida igualmente por Thomas Saaty, em 1996[48], a sua estrutura baseia-se em 4 passos, apresentados originalmente por Saaty e mais tarde foi desenvolvido por outros investigadores. De seguida são apresentados os 4 passos [49]:

1. Construção do modelo e estruturação do modelo: O problema deve ser apresentado de forma clara e estruturado numa forma de rede, sendo necessário identificar os vários clusters (objetivo, critérios, subcritérios e alternativas) e as possíveis interações.
2. Comparação de pares e vetores de prioridade: Assim como o AHP, é utilizada a escala Fundamental de Saaty, tabela 2-8, para a comparação entre os elementos. A importância, de cada elemento sobre os outros elementos, deve ser representada por um vetor próprio. As comparações são representadas numa matriz e para se saber a importância relativa dos elementos deve ser calculado o vetor de prioridade. Sendo, o processo exatamente igual ao utilizado no AHP.
3. Criação da supermatriz: Para se obter as prioridades globais do sistema, os vetores prioridade são inseridos nas colunas das matrizes. Formando assim a supermatriz, estando esta dividida em várias matrizes, onde cada uma delas

representa a relação entre os elementos. Esta é a matriz não ponderada, para se obter a matriz ponderada, é necessário multiplicar os valores da primeira matriz pelo peso, correspondente a cada elemento.

4. Síntese das prioridades dos critérios e alternativas e seleção da melhor alternativa: as ponderações de priorização dos critérios e das alternativas podem ser encontradas na matriz limite.

Este método, pode ser dividido em duas fases distintas. Uma primeira, onde é criada uma hierarquia de controlo, os critérios e os subcritérios que controlam as interações entre elementos. A segunda, é onde se cria a rede de influências entre os elementos, as matrizes de comparação. Por fim, as matrizes são ponderadas, com base na prioridade dos critérios [45]. O ANP, os componentes do sistema são representados por nós e a ligação entre eles, representadas por nós. Com a influência, entre elementos, representada pela direção das setas.

O ANP apesar de ultrapassar partes das falhas do AHP, no entanto, a sua aplicação continua abaixo. O que é provocado pela complexidade da sua aplicação [50], dificultando a sua adoção, por parte dos projetistas.

3 Desenvolvimento de metodologia

3.1 Introdução

Neste capítulo, será apresentada uma metodologia, que poderá ser aplicada na concepção de anteprojetos de equipamentos mecânicos. Esta será desenvolvida após a análise às metodologias, mais aplicadas e estudadas na literatura, realizada anteriormente.

Este método, será baseado na aplicação no modelo da TA, com apoio da TRIZ, para a resolução dos problemas e será concluído com a aplicação do *Analytic Hierarchy Process* (AHP), devido a este método ser de relativa fácil aplicação e de conter um elevado campo de aplicação. A TA nesta metodologia, servirá como guia para como alcançar um bom projeto, tendo o projeto de respeitar o primeiro axioma. A TRIZ irá servir para resolver os problemas, que se criam no desenvolvimento do projeto. Por fim o AHP será utilizado na tomada de decisão, tendo o objetivo de se escolher a melhor solução, sendo selecionado em detrimento do axioma da informação da TA devido à grande quantidade de informação que o axioma da informação necessita de modo a alcançar a decisão mais acertada, o que nem sempre é possível obter nesta fase de projeto, devido à quantidade de informação reduzida necessária para o AHP alcançar uma decisão acertada, considera-se que este é o método mais adequado para aplicar nesta fase do projeto.

Como já foi referido anteriormente, estas são algumas das metodologias mais utilizadas na indústria, nas suas respetivas fases do anteprojecto. Estas são, igualmente, metodologias que se complementam. Sendo a TRIZ um bom complemento à TA, na fase da resolução de problemas, como já referido no capítulo 2.3. O AHP é um método de tomada de decisão multicritério, dado que este é caracterizado por uma fácil e rápida aplicação e pode ser utilizado numa grande variedade de situações, é um método que se enquadra perfeitamente nesta metodologia.

Como complemento a esta metodologia, pode-se utilizar *Brainstorming*, especialmente como apoio à aplicação da TRIZ, ou em substituição desta, quando não se obtém resultados satisfatórios com a sua aplicação, principalmente devido ao conhecimento necessário para a boa aplicação das ferramentas de resolução de problemas, existentes na TRIZ. Pois, ambas são bastante utilizadas para a resolução inovadora de problemas. Podendo ser utilizadas como complemento ou substituição, entre si.

Na Figura 3.1, está apresentado um fluxograma representativo da metodologia de anteprojecto.

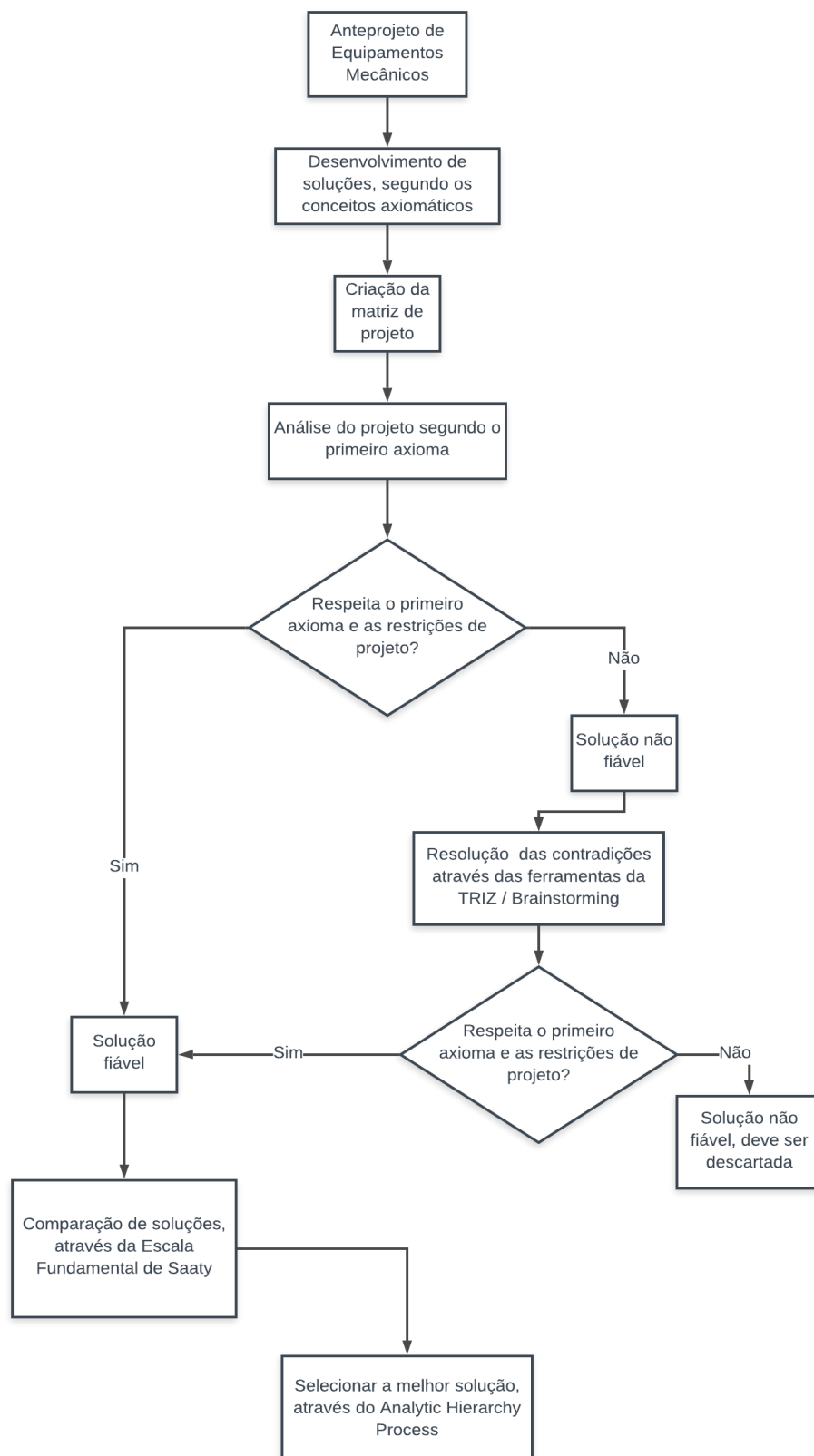


Figura 3.1 - Fluxograma de aplicação da metodologia

3.2 Modo de Aplicação

Na aplicação deste método devem ser seguidos os passos seguintes:

1. Criação de soluções, segundo os conceitos da TA;
2. Formação da matriz de projeto;
3. Avaliação segundo os conceitos da TA da solução e identificação de problemas, existentes nas soluções;
4. Resolução dos problemas identificados, através da aplicação das ferramentas da TRIZ;
5. Caso, não seja possível, a resolução através da TRIZ, utilização de *Brainstorming*, entre a equipa de projeto;
6. Comparação das soluções, utilizando o AHP;
7. Seleção da solução, segundo os resultados obtidos no ponto anterior.

Inicialmente, deve-se alcançar o máximo de soluções possíveis para o projeto, segundo os princípios da TA. Isto é, deve ser realizada a desmaterialização do sistema, de modo a ser possível a separação das funções básicas necessárias para cumprir com as requisitos do cliente, que no modelo da TA são considerados os requisitos funcionais, não devendo ser considerada nenhuma solução física para a resolução do problema [51]. De seguida, deve-se considerar quais as soluções que existem para cada função, de modo a serem alcançadas diversas soluções que respondam ao problema em questão. Segue-se a construção da matriz de projeto, para a avaliação, segundo o primeiro axioma, da independência. Deverá ser realizada, nesta fase, uma avaliação ao cumprimento das restrições de projeto, por parte de cada solução.

De seguida, procede-se à resolução dos problemas identificados, podendo estes ser o não cumprimento do primeiro axioma, isto é ser um projeto acoplado ou, o não cumprimento das restrições de projeto. Para a resolução destes, aplica-se as ferramentas da TRIZ, para tal deve-se identificar que tipo de contradição se trata, contradição física ou técnica. Para o caso de contradição física, devem ser utilizados os quatro princípios de separação e os correspondentes princípios inventivos. Para o caso de se tratar de uma contradição técnica, utiliza-se os parâmetros de engenharia, complementados com a matriz de contradições, para se chegar aos princípios inventivos, com que se deve alcançar a solução. Caso não sejam obtidos resultados satisfatórios, com a aplicação simples da TRIZ, deve ser tentada uma utilização conjunta da TRIZ com *Brainstorming*, para se alcançar formas de utilizar os princípios inventivos, ou aplicando *Brainstorming*, como uma metodologia de substituição à TRIZ. Se nenhuma destas ferramentas permitir à equipa de projeto, solucionar os problemas de uma ou mais soluções, estas devem ser descartadas, pois estas não se devem considerar alternativas fiáveis. As soluções que cumprem o primeiro axioma e as restrições de projeto são consideradas fiáveis para responder ao projeto

Caso existam múltiplas alternativas que cumpram com o primeiro axioma, da TA e todas as restrições de projeto deve ser utilizado o método de tomada de decisão AHP, um método que se caracteriza por utilizar múltiplos atributos, para a seleção. Podem ser utilizados alguns dos requisitos funcionais como objetivos e critérios de seleção, devendo igualmente ser utilizados outros critérios, que a equipa de projeto, considere necessário avaliar para a encontrar a melhor solução. Este facto em conjunto com a facilidade e rapidez de aplicação, torna este um dos métodos para se alcançar a solução ideal para o projeto, se for utilizada a TA, no desenvolver do projeto.

Aplicando estes métodos em conjunto, para a realização de um anteprojecto de equipamentos mecânicos, é possível alcançar uma solução, que cumpra com os requisitos do cliente e que contenha componentes independentes, entre si, para permitir que se realizem alterações em alguns destes e não existir a necessidade de alterar os restantes.

3.3 Exemplo de aplicação

Para exemplificar a aplicação desta metodologia, será desenvolvido um anteprojecto para o desenvolvimento de uma caneta, com possibilidade de recarregar. Este é uma aplicação simples e facilmente perceptível, que deverá ser considerada como guia para futuras aplicações.

Primeiramente, deve-se seguir os conceitos da TA, para se alcançar as soluções primárias, sendo o requisito funcional principal a necessidade de escrever permanentemente em papel, podemos obter desta forma duas soluções diferentes para responder ao requisito.

Uma delas uma caneta esferográfica, solução 1, a outra uma caneta de aparo, solução 2. No segundo nível, ambas as soluções responderão a três requisitos funcionais diferentes:

FR1: Guardar a tinta – Existir forma de manter a tinta dentro da caneta;

FR2: Passar a tinta para o papel – Garantir a transferência da tinta para o papel de forma controlada;

FR3: Proteger da tinta – Proteger o utilizador e os documentos escritos, caso exista uma libertação inesperada e em grande quantidade de tinta.

A solução 1 responde da seguinte forma aos requisitos apresentados, estando representados esquematicamente na figura 3.2 os FR's e na figura 3.3 os DP's:

FR: Escrever em Papel Permanentemente	DP: Caneta Esferográfica
FR1: Guardar a Tinta	DP1: Carga de Tinta
FR2: Passar a Tinta para o Papel	DP2: Cabeça da Caneta
FR3: Proteger da Tinta	DP3: Corpo da Caneta

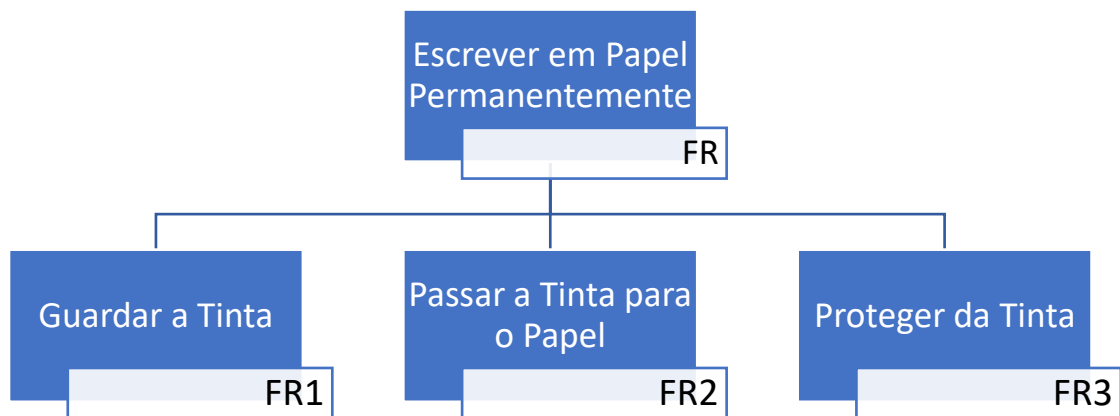


Figura 3.2 - FR's da Caneta Esferográfica

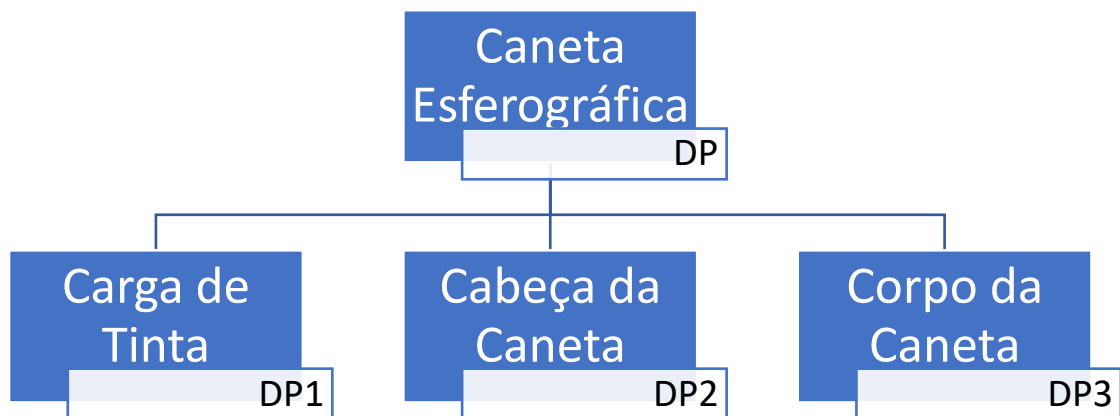


Figura 3.3 - DP's da Caneta Esferográfica

Esta solução é baseada na composição de uma de uma caneta da marca BIC. Em que é utilizada uma carga de tinta, para a guardar. A cabeça é composta por dois componentes, a esfera, que dá nome ao tipo de caneta, que permite a passagem controlada da tinta para o papel, graças ao seu movimento de rotação, provocado pelo deslizamento desta pelo papel, o outro componente é um adaptador que permite segurar a esfera e controlar o seu movimento. O corpo da caneta tem a função de facilitar a utilização da caneta e de proteger o utilizador da tinta libertada no caso de existirem danos na carga. A equação 8 representa a matriz de projeto:

$$\begin{Bmatrix} FR1 \\ FR2 \\ FR3 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} X & 0 & 0 \\ 0 & X & 0 \\ 0 & X & X \end{bmatrix} * \begin{Bmatrix} DP1 \\ DP2 \\ DP3 \end{Bmatrix} \quad (8)$$

Chegando-se a uma matriz triangular, conclui-se que este é um projeto desacoplável, satisfazendo o primeiro axioma.

Mas devido à sua construção, em que a carga se encontra encastrada na cabeça da caneta, não é possível recarregar-se a caneta, sem se proceder à substituição da cabeça. Assim, esta solução não cumpre com os requisitos do cliente, criando uma contradição, que será agora resolvida através da aplicação da TRIZ.

Este caso trata-se de uma contradição física, deste modo, é necessário recorrer aos princípios de separação para a resolver. Analisando o problema, o princípio de separação no espaço é aquele que melhor se enquadra no problema.

Existem diversos princípios inventivos, que podem ser utilizados para a resolução do problema, ver capítulo 2.2, mas, neste caso, aquele que será mais facilmente utilizado é o princípio inventivo 1, segmentação, que nos diz que se deve tornar os objetos fáceis de desmontar, aumentando a sua segmentação, o que neste caso se enquadra na perfeição. Ao tornar a carga fácil de desmontar da cabeça da caneta, permitindo a sua recarga.

Um problema desta solução será impedir a separação indesejada da carga, mas este problema é minimizado graças à existência do corpo da caneta, que deverá atuar como auxiliar à estrutura da caneta, ajudando a que os componentes se mantenham juntos.

A solução 2, por seu lado, responde aos critérios da seguinte forma, estando representados esquematizados na figura 3.2 os FR's e na figura 3.4 os DP's:

FR: Escrever em Papel Permanentemente	DP: Caneta de Aparo
FR1: Guardar a Tinta	DP1: Reservatório de Tinta
FR2: Passar a Tinta para o Papel	DP2: Aparo
FR3: Proteger da Tinta	DP3: Corpo da Caneta

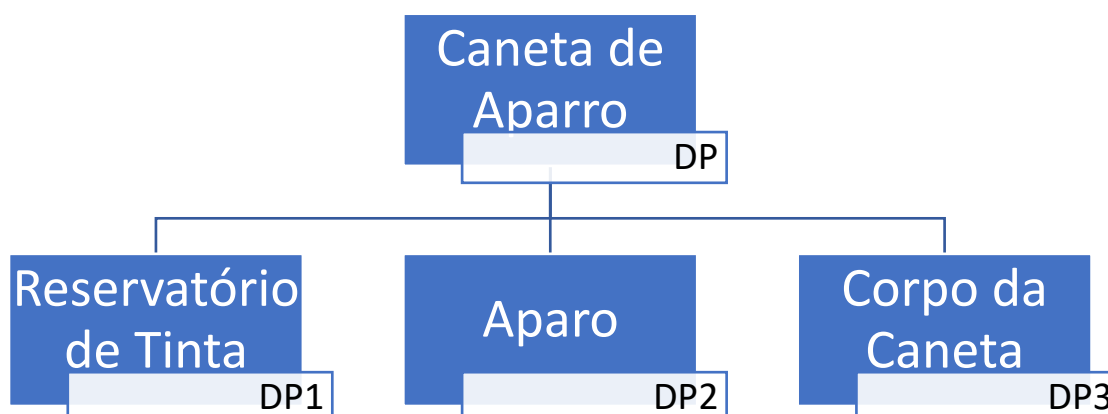


Figura 3.4 - DP's da Caneta de Aparo

A composição utilizada para este exemplo, é baseada numa caneta de aparo da marca Pelikan. Em que é utilizado um reservatório de tinta descartável, de fácil substituição, para guardar a tinta. O aparo, tem a mesma função que a cabeça de uma caneta esferográfica, transportar a tinta até o papel e impedir a libertação inesperada da tinta. O corpo da caneta, tem igualmente a mesma função que na caneta esferográfica, facilitar a sua utilização e proteger o utilizador, em caso de rotura do reservatório de tinta. A equação 9 representa a matriz de projeto:

$$\begin{Bmatrix} FR1 \\ FR2 \\ FR3 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} X & 0 & 0 \\ 0 & X & 0 \\ 0 & X & X \end{bmatrix} * \begin{Bmatrix} DP1 \\ DP2 \\ DP3 \end{Bmatrix} \quad (9)$$

Como se pode observar, ao analisar-se a solução do ponto de vista da TA, obtemos uma matriz de projeto semelhante à da caneta esferográfica. Cumprindo desta forma o primeiro axioma. Mas devido a esta solução apresentar um reservatório de tinta descartável, permitindo a sua substituição, esta solução cumpre o critério do cliente, não sendo necessário a aplicação da TRIZ para a resolução de contradições.

Terminada a fase de desenvolvimento de soluções, é agora necessário decidir que solução é a melhor.

Para começar a aplicação do AHP, é necessário definir qual o objetivo e os critérios e subcritérios. Considera-se o objetivo: uma caneta que possa ser recarregada. A avaliação será realizada segundo os critérios seguintes:

- E1 - Facilidade de uso;
- E2 - Custo;
- E3 - Manutenibilidade.

A facilidade de uso é essencial, para permitir que todos os usuários consigam utilizar o produto. O custo é considerado pois o facto de existirem valores muito elevados pode vir a impedir a aquisição do produto. A manutenibilidade elevada irá provocar dificuldades acrescidas, em caso de ser necessário realizar manutenção, devendo ser considerado como um critério de avaliação.

Para os dois últimos critérios não será necessário desenvolver outros níveis, isto é, não serão divididos em subcritérios. A facilidade de uso deve ser dividido em subcritérios, em específico, o conforto no uso e a facilidade da escrita.

Estando escolhidos os critérios de avaliação, deve-se realizar a comparação entre os pares. Deverá ser utilizada a escala fundamental de Saaty, tabela 2-8, na comparação, isto é o quanto maior o valor de um elemento na comparação maior será a sua importância em relação ao

elemento a que este é comparado, como explicado no capítulo 2.5, sendo os valores a importância de um elemento em relação ao seu par, quanto maior o valor, maior será a sua importância. A matriz de comparações entre os critérios, em relação ao objetivo, encontra-se na equação 10. A matriz de comparações entre os subcritérios, em relação ao critério correspondente, está representada na equação 11, sendo o conforto, o elemento E11 e a facilidade de uso, o elemento E12. A comparação entre as alternativas, em relação aos critérios, representado na equação 12, em relação ao subcritério E11, equação 13, subcritério E12, equação 14, critério E2 e a equação 15, critério E3.

$$A1 = \begin{pmatrix} E1 \\ E2 \\ E3 \end{pmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 3 & 7 \\ \frac{1}{3} & 1 & 6 \\ \frac{1}{7} & \frac{1}{6} & 1 \end{bmatrix} \quad (10)$$

Na equação 10 está apresentada a comparação entre os critérios em relação ao objetivo. Na comparação foi considerado que a facilidade de uso apresenta uma moderada importância em relação ao custo, significando que auxilia um pouco a alcançar o objetivo e uma importância mais forte em relação à manutenibilidade, significando que apresenta um grande peso para alcançar o objetivo em relação à manutenibilidade. Enquanto que o custo apresenta uma muito forte importância em relação à manutenibilidade.

$$A2 = \begin{pmatrix} E11 \\ E12 \end{pmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 3 \\ \frac{1}{3} & 1 \end{bmatrix} \quad (11)$$

Na equação 11 é realizada a comparação entre os subcritérios, conforto no uso e facilidade na escrita, em relação ao critério facilidade de uso, em que é considerado que o conforto no uso apresenta uma importância um pouco superior que a facilidade de uso, de forma a diminuir a facilidade de uso, uma moderada importância na escala fundamental de Saaty.

$$A3 = \begin{pmatrix} S1 \\ S2 \end{pmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 5 \\ \frac{1}{5} & 1 \end{bmatrix} \quad (12)$$

Na equação 12 é realizada a comparação das soluções em relação ao subcritério conforto no uso, em que é considerado que a solução 1 apresenta um conforto no uso melhor que a solução 2 em relação à solução 2, considerada uma forte importância na escala fundamental de Saaty.

$$A4 = \begin{pmatrix} S1 \\ S2 \end{pmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 6 \\ \frac{1}{6} & 1 \end{bmatrix} \quad (13)$$

Na equação 13 é apresentada a comparação das soluções em relação ao subcritério facilidade de uso, em que a solução 1 apresenta uma facilidade na escrita muito superior em relação à solução 3, considerada uma muito forte importância na escala fundamental de Saaty.

$$A5 = \begin{pmatrix} S1 \\ S2 \end{pmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 8 \\ \frac{1}{8} & 1 \end{bmatrix} \quad (14)$$

Na equação 14 é realizada a comparação das soluções em relação ao critério custo, em que é considerado que a solução 1 apresenta uma capacidade bastante superior de manter o custo baixo em relação à solução 2, considerada uma muito muito forte importância na escala fundamental de Saaty.

$$A6 = \begin{pmatrix} S1 \\ S2 \end{pmatrix} \begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{7} \\ 7 & 1 \end{bmatrix} \quad (15)$$

Na equação 15 é realizada a comparação das soluções em relação ao critério manutenibilidade, em que é considerado que a solução 2 é reparada com bastante mais fácil que a solução 1, considerada uma importância mais forte na escala fundamental de Saaty.

Realizada a comparação é necessário chegar aos vetores prioridade das matrizes, como demonstrado no capítulo 2.5. A equação 16, é o vetor da matriz A1, a equação 17, matriz A2, a equação 18, matriz A3, a equação 19, da matriz A4, a equação 20, da matriz A5 e a equação 21, da matriz A6.

$$V1 = \begin{pmatrix} E1 \\ E2 \\ E3 \end{pmatrix} [0,632 \quad 0,298 \quad 0,069] \quad (16)$$

$$V2 = \begin{pmatrix} E11 \\ E12 \end{pmatrix} [0,75 \quad 0,25] \quad (17)$$

$$V3 = \begin{pmatrix} S1 \\ S2 \end{pmatrix} [0,833 \quad 0,167] \quad (18)$$

$$V4 = \begin{pmatrix} S1 \\ S2 \end{pmatrix} [0,857 \quad 0,143] \quad (19)$$

$$V5 = \begin{pmatrix} S1 \\ S2 \end{pmatrix} [0,889 \quad 0,111] \quad (20)$$

$$V6 = \begin{pmatrix} S1 \\ S2 \end{pmatrix} [0,125 \quad 0,875] \quad (21)$$

Para concluir, é realizada a média ponderada das classificações das alternativas em relação ao objetivo. A equação 22 é a avaliação da solução 1 e a equação 23 a avaliação da solução 2.

$$\begin{aligned} &0,833 * 0,75 * 0,632 + 0,857 * 0,25 * 0,632 + 0,889 * 0,298 + 0,125 * 0,069 \\ &= 0,804 \end{aligned} \quad (22)$$

$$\begin{aligned} &0,167 * 0,75 * 0,632 + 0,143 * 0,25 * 0,632 + 0,111 * 0,298 + 0,875 * 0,069 \\ &= 0,196 \end{aligned} \quad (23)$$

Realizada a avaliação, conclui-se que a melhor solução será a caneta esferográfica alterada, para se poder recarregar, principalmente devido à facilidade do seu uso e do seu custo em relação à caneta de aparo.

4 Conclusões e trabalhos futuros

A metodologia desenvolvida nesta dissertação procura contribuir para a resolução de um dos grandes problemas no desenvolvimento de anteprojetos para equipamentos mecânicos, a falta de métodos que podem ser seguidos em todo o processo. A metodologia desenvolvida procura utilizar alguns dos métodos que atualmente se encontram mais estudadas e aplicadas na literatura. Sendo estas a TA, a TRIZ, *Brainstorming* e *Analytic Hierarchy Process*.

A Teoria Axiomática de Projeto, apesar de incluir ferramentas que permitem estruturar um projeto em torno de um objetivo, não inclui ferramentas que permitem resolver problemas no decorrer do desenvolvimento do projeto.

Deste modo, a aplicação da TRIZ permite a resolução de problemas através dos seus princípios inventivos, matriz de contradição, princípios de separação, entre outros. Apesar de a TRIZ ter ferramentas que permitem resolver grande partes dos problemas que possam surgir, a sua aplicação exige um conhecimento aprofundado das suas ferramentas, devido a isso, podem surgir problemas na sua aplicação. Nestes casos, está previsto a aplicação de *Brainstorming*, podendo esta ser aplicada em auxílio da TRIZ, ou individualmente. A aplicação de *Brainstorming*, permite que toda a equipa de projeto entre nas soluções criadas, tentando alcançar a melhor solução que é possível alcançar por toda a equipa.

Na fase de tomada de decisão deverá ser utilizada a metodologia *Analytic Hierarchy Process*, uma das mais utilizadas nesta fase. Este é um método caracterizado pela facilidade de utilização e pela decisão ser tomada através da opinião da equipa de projeto, que se considera ser composta por especialistas da área.

Ao seguir este método a equipa de projeto deve ser capaz de alcançar as melhores soluções de forma mais rápida e eficaz. Pois a falta de metodologias provoca que não exista um guia para a realização de anteprojetos, fazendo com que as equipas sigam diferentes métodos, em todas as situações. Ao existir uma alternativa que consiga utilizar em grande parte das situações, as equipas conseguem obter um conhecimento aprofundado sobre as ferramentas a ser aplicadas, provocando a diminuição do tempo necessário, no desenvolvimento de anteprojetos.

Apesar de nesta dissertação a metodologia ser aplicada num exemplo, este é um exemplo bastante simples e que apenas serve como um guia para futuras aplicações. Desta forma, aconselha-se, que em trabalhos futuros, sejam realizados exemplos de aplicação, de maior complexidade, de forma a validar a aplicabilidade desta metodologia. Devendo ser também realizado um estudo a um conjunto mais alargado de metodologias, que auxiliem o método desenvolvido, principalmente na fase de criação de soluções e apoiem o desenvolvimento de soluções criativas e metodologias que permitam exprimir melhor as necessidades do cliente no

produto a ser desenvolvido do projeto e que permita que a voz do cliente seja expressa da melhor forma no projeto a desenvolvido, para tal poderão ser incluídas metodologias como o modelo de Kano e Desdobramento da Função Qualidade (QFD).

Bibliografia

- [1] T. Drozda, C. Wick, J. T. Benedict, R. F. Veilleux, R. Bakerjian, and Society of Manufacturing Engineers., *Tool and manufacturing engineers handbook : a reference book for manufacturing engineers, managers, and technicians*. Society of Manufacturing Engineers, 1983.
- [2] G.-J. Park, *Analytic Methods for Design Practice*. Springer, 2007.
- [3] N. P. Suh, *The principles of design*. Oxford University Press, 1990.
- [4] N. P. Suh, “Exploratory Study of Constraints on Design by Functional Requirements Manufacturing,,” 1979.
- [5] N. P. Suh, “Development of the science base for the manufacturing field through the axiomatic approach,” *Robot. Comput. Integr. Manuf.*, vol. 1, no. 3–4, pp. 397–415, 1984.
- [6] A. J. M. Martins, “Tomada de decisão em engenharia com base na teoria axiomática—caso de seleção de banco de ensaios para atuadores hidráulicos,” Tese de Mestrado; Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade NOVA de Lisboa, 2015.
- [7] V. Sozo, “Utilização da abordagem axiomática no processo de tomada de decisões pertinentes ao projeto conceitual de produtos,” Tese de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, 2002.
- [8] D. S. de F. M. Martins, “Contributos para a conceção de uma unidade fabril de granulado de cortiça,” Tese de Mestrado; Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade NOVA de Lisboa, 2018.
- [9] J. Malmqvist, R. Axelsson, and M. Johansson, “A Comparative Analysis of the Theory of Inventive Problem-Solving and the Systematic Approach of Pahl and Beitz,” *Proc. ASME DTM’96*, no. January 1996, p. 96, 1996.
- [10] L. Matos, “Aplicação da Ferramenta Metodológica TRIZ no Desenvolvimento de Novos Produtos Industriais em Empresas Nacionais,” Tese de Mestrado, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 2017.
- [11] G. Lopes, “Modelo de Utilização Conjunta das Metodologias Lean e TRIZ,” Tese de Mestrado; Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade NOVA de Lisboa, 2015.
- [12] T. Vicente, “Modelo de Utilização Conjunta da TRIZ , Modelo de Kano e QFD,” Tese de Mestrado; Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade NOVA de Lisboa, 2017.

- [13] J. Terninko, A. Zusman, and B. Zlotin, “Systematic Innovation: An Introduction to TRIZ (Theory of Inventive Problem Solving),” p. 208, 1998.
- [14] H. V. G. Navas, “Fundamentos do TRIZ, Parte V - Idealidade de um sistema,” *Inovação Empreendedorismo Newsl. n° 54 - Setembro 2014 - Vida Económica*, no. September, p. 3, 2014.
- [15] H. Navas, “Uma metodologia para resolução de problemas,” *Guia Empres. Certificadas*, pp. 28-32, no. January, 2013.
- [16] S. D. Savransky, *Engineering of creativity: Introduction to TRIZ methodology of inventive problem solving*. CRC Press, 2000.
- [17] D. Cavallucci, “World Wide status of TRIZ perceptions and uses a survey of results,” *A Rep. from Eur. TRIZ Assoc.*, 2009.
- [18] M. A. Orloff, *Inventive thinking through TRIZ : a practical guide*. Springer, 2006.
- [19] G. S. Altshuller, L. Shulyak, and S. Rodman, *40 Principles: TRIZ Keys to Technical Innovation*. Technical Innovation Center, 1997.
- [20] K. Gadd, *TRIZ for engineers : enabling inventive problem solving*. Wiley, 2011.
- [21] H. V. G. Navas, “Fundamentos do TRIZ - Parte I - Necessidade de Resolver Problemas,” *Inovação Empreendedorismo Newsl. n° 50 - Abril 2014 - Vida Económica*, no. September, p. 3, 2014.
- [22] I. Ilevbare, R. Phaal, D. Probert, and A. T. Padilla, “Integration of TRIZ and roadmapping for innovation, strategy, and problem solving,” *Technology*, no. July, pp. 1–45, 2011.
- [23] L. Haines-Gadd, *TRIZ For Dummies*. Wiley, 2016.
- [24] H. V. G. Navas, “Fundamentos do TRIZ - Parte II - Níveis de Inovação,” *Inovação Empreendedorismo Newsl. n° 51 - Maio 2014 - Vida Económica*, no. 51, p. 3, 2014.
- [25] H. Navas, “Fundamentos do TRIZ. Parte VIII - Modelo Substância-Campo,” *Inovação Empreendedorismo Newsl. n° 57 - Dezembro 2014 - Vida Económica*, no. December 2014, 2014.
- [26] J. F. Marques, “Aplicação da Metodologia TRIZ e da Manutenção Autónoma em Atividades de Manutenção Industrial,” 2014.
- [27] Y. S. Kim and D. S. Cochran, “Reviewing TRIZ from the perspective of Axiomatic Design,” *J. Eng. Des.*, vol. 11, no. 1, pp. 79–94, 2000.

- [28] V. R. Fey and E. I. Rivin, *The Science of Innovation: A Managerial Overview of The TRIZ Methodology*, vol. 53, no. 9. TRIZ Group, 1997.
- [29] H. V. G. Navas, “Fundamentos do TRIZ parte IX – Algoritmo de Resolução Inventiva de Problemas (ARIZ),” *Inovação Empreendedorismo Newsl. n° 58 - Janeiro 2015 - Vida Económica*, no. January, p. 5, 2015.
- [30] Y. Borgianni and D. T. Matt, “Axiomatic Design and TRIZ: Deficiencies of their Integrated Use and Future Opportunities,” *Procedia CIRP*, vol. 34, pp. 1–6, 2015.
- [31] M. Ogot, “Conceptual design using axiomatic design in a TRIZ framework,” *Procedia Eng.*, vol. 9, no. October, pp. 736–744, 2011.
- [32] Z. Ruihong, T. Runha, and C. Guozhong, “Case Study in AD and TRIZ: A Paper Machine,” *History*, vol. 2010, no. 15/03/2010, pp. 1–27, 2005.
- [33] R. Beniwal, “Brainstorming Technique - A Step to Creativity,” no. April, 2018.
- [34] L. H. D. A. F. Osborn, *Applied Imagination: Principles and Procedures of Creative Problem-Solving: Third Revised Edition*. 1963.
- [35] M. A. M. . V, “Brainstorming: Thinking - Problem Solving Strategy,” *Int. J. Eng. Res. Appl.*, vol. 07, no. 03, pp. 33–37, Mar. 2017.
- [36] H. Lamm and G. Trommsdorff, “Group versus individual performance on tasks requiring ideational proficiency (brainstorming): A review,” *Eur. J. Soc. Psychol.*, vol. 3, no. 4, pp. 361–388, 1973.
- [37] R. D. Sardinha, “Seleção de Estratégia de Sourcing em Atividades de Manutenção num Parque Eólico: Uma Análise Multicritério,” Tese de Mestrado; Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade NOVA de Lisboa, 2017.
- [38] P. J. G. Mota, “Comparative Analysis of Multicriteria Decision Making Methods,” Tese de Mestrado; Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade NOVA de Lisboa, 2013.
- [39] S. D. Pohekar and M. Ramachandran, “Application of multi-criteria decision making to sustainable energy planning - A review,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 8, no. 4. pp. 365–381, 2004.
- [40] E. Løken, “Use of multicriteria decision analysis methods for energy planning problems,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 11, no. 7. pp. 1584–1595, Sep-2007.
- [41] B. Ceballos, M. T. Lamata, and D. A. Pelta, “A comparative analysis of multi-criteria

- decision-making methods,” *Prog. Artif. Intell.*, vol. 5, no. 4, pp. 315–322, 2016.
- [42] F. Zammori, “The analytic hierarchy and network processes: Applications to the US presidential election and to the market share of ski equipment in Italy,” *Appl. Soft Comput. J.*, vol. 10, no. 4, pp. 1001–1012, Sep. 2010.
 - [43] Navneet Bhushan and Kanwal Rai, “Strategic decision making. Applying the analytic hierarchy process,” *Springer Science & Business Media*, 2004. .
 - [44] D. Baker, D. Bridges, R. Hunter, J. Krupa, J. Murphy, and K. Sorenson, “Guidebook to Decision-Making Methods,” *Department of energy, USA*, 2001. .
 - [45] T. L. Saaty, “How to make a decision: The analytic hierarchy process,” *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 48, no. 1, pp. 9–26, 1990.
 - [46] T. L. Saaty and L. G. Vargas, “The analytic network process,” in *International Series in Operations Research and Management Science*, vol. 195, 2013, pp. 1–40.
 - [47] G. P. White, “The implementation of management science in higher education administration,” *Omega*, vol. 15, no. 4, pp. 283–290, 1987.
 - [48] T. L. Saaty, “Decision Making with Dependence and Feedback: The Analytic Network Process,” in *RWS Publications, 1996, ISBN 0-9620317-9-8*, RWS Publications, 1996, p. 370.
 - [49] S. H. Chung, A. H. I. Lee, and W. L. Pearn, “Analytic network process (ANP) approach for product mix planning in semiconductor fabricator,” *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 96, no. 1, pp. 15–36, Apr. 2005.
 - [50] A. H. I. Lee, “A fuzzy AHP evaluation model for buyer-supplier relationships with the consideration of benefits, opportunities, costs and risks,” *Int. J. Prod. Res.*, vol. 47, no. 15, pp. 4255–4280, Aug. 2009.
 - [51] A. Gabriel-Santos *et al.*, “How Axiomatic Design can promote creativity in the design of new products,” *MATEC Web Conf.*, vol. 112, 2017.
 - [52] N. P. Suh, *Complexity : theory and applications*. Oxford University Press, 2005.
 - [53] J. D. Molina, “Metodologia TRIZ Aplicada ao Desenvolvimento do Conforto Acústico em Aeronaves Comerciais,” Tese de Mestrado; Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade NOVA de Lisboa, 2013.

Anexos

Anexo A

Corolários e Teoremas da Teoria Axiomática, adaptado de [52]

Corolário 1 – Desacoplamento de Projetos Acoplados	Desacoplar ou separar partes ou aspectos de uma solução se os FR's estão acoplados ou tornaram-se interdependentes no projeto proposto
Corolário 2 – Minimização dos FR's	Minimizar o número de FR's e restrições
Corolário 3 – Integração de Partes Físicas	Integrar aspectos de projeto em uma única parte física se os FR's podem ser satisfeitos independentemente na solução proposta
Corolário 4 – Uso de normalização	Usar partes normalizadas ou intercambiáveis se o uso das mesmas é consistente com os FR's e as restrições
Corolário 5 – Uso de Simetria	Usar partes componentes simétricos se o uso dos mesmos é consistente com os FR's e as restrições
Corolário 6 – Tolerância mais ampla	Especificar a tolerância mais ampla possível na definição dos FR's
Corolário 7 – Projeto Não acoplado com Menor Informação	Procurar um projeto não acoplado que requeira menos informação que um projeto acoplado para satisfazer um conjunto de FR's
Corolário 8 – Efetiva reangularidade de um Escalar	A reangularidade efetiva de uma matriz de acoplamento escalar é a unidade

Teorema 1 – Acoplamento Devido a Número Insuficiente de Parâmetros de Projeto	Quando um número de DP's é menor que o número de FR's, ou se tem um projeto acoplado, ou então os FR's não podem ser satisfeitos.
Teorema 2 – Desacoplamento de um Projeto Acoplado	Quando um projeto é acoplado por ter um número maior de FR's que de DP's, ele pode ser desacoplado com o acréscimo de novos DP's de modo a igualar o número de FR's e DP's, se o subconjunto da matriz de projeto contendo $n \times n$ elementos constituir uma matriz triangular.

Teorema 3 – Projeto Redundante	Quando há mais DP's que FR's, o projeto ou é redundante, ou é acoplado.
Teorema 4 – Projeto Ideal	Num projeto ideal, o número de DP's é igual ao número de FR's.
Teorema 5 – Necessidade de um Novo Projeto	Quando um dado conjunto de FR's é alterado com acréscimo de um novo FR, ou um dos FR's é substituído, ou um conjunto completamente diferente de FR's é definido, a solução de projeto dada pelo conjunto original de DP's não pode satisfazer o novo conjunto de FR's, consequentemente, uma nova solução de projeto deve ser procurada.
Teorema 6 – Independência de Caminho em um Projeto Não acoplado	O conteúdo de informação de um projeto não acoplado é independente da sequência na qual os DP's são alterados para satisfazer um determinado conjunto de FR's.
Teorema 7 – Independência de Caminho em um Projeto Acoplado ou Desacoplado	O conteúdo de informação de um projeto acoplado ou desacoplado depende da sequência na qual os DP's são alterados e no caminho de alteração destes DP's.
Teorema 8 – Independência e Tolerância	Um projeto é não acoplado quando a tolerância de projeto especificada é maior que $\left(\sum_{j=1; j \neq i}^n \frac{\partial FR_i}{\partial DP_j} \Delta DP_j\right)$ caso no qual os elementos não diagonais da matriz de projeto podem ser negligenciados em termos de projeto.

Teorema 9 – Projeto para Manufaturabilidade	Para um produto ser manufaturável, a matriz de projeto do produto, $[A]$ (que relaciona o vetor de FR's do produto com o vetor de DP's do produto) vezes a matriz de projeto do processo de manufatura, $[B]$ (que relaciona o vetor de DP's do produto com o vetor de PV's do processo de manufatura) deve resultar em uma matriz diagonal ou triangular; conseqüentemente, quando qualquer uma das matrizes de projeto, seja $[A]$ ou $[B]$, representa um projeto acoplado, o produto não pode ser manufaturado.
Teorema 10 – Modularidade das Medidas Independentes	Supondo que a matriz de projeto possa ser particionada em submatrizes quadradas que não sejam zero somente ao longo da diagonal principal; então a reangularidade e a semangularidade da matriz de projeto são iguais ao produto das medidas correspondentes de cada uma das submatrizes.
Teorema 11 – Invariância	A reangularidade de uma matriz de projeto são invariantes quando ordens alternativas dos FR's ou DP's são aplicadas, desde que as ordens preservem a associação de cada FR com o seu respectivo DP.
Teorema 12 – Soma da Informação	A soma da informação de um conjunto de eventos também é informação, dado que sejam utilizadas probabilidades condicionais adequadas quando os eventos não são estatisticamente independentes.
Teorema 13 – Conteúdo da Informação do Sistema Total	Se cada DP é probabilisticamente independente dos outros DP's, o conteúdo de informação total do sistema é a soma da informação de cada evento individual associado ao conjunto de FR's que deve ser satisfeito.

Teorema 14 – Conteúdo de Informação de Projetos Acoplados versus Não acoplados	Quando o estado dos FR's é alterado no domínio funcional, a informação requerida para a mudança é maior para um projeto acoplado que para um projeto não acoplado.
Teorema 15 – Interface Projeto - Manufatura	Quando o sistema de manufatura compromete a independência dos FR's do produto, ou o projeto do produto precisa de ser modificado, ou um novo processo de manufatura deve ser projetado e/ou usado para manter a independência dos FR's do produto.
Teorema 16 – Igualdade do Conteúdo de Informação	Todo o conteúdo de informação que é relevante para a tarefa de projeto é igualmente importante independente de sua origem física, não devendo ser aplicado fator de ponderação.
Teorema 17 – Projeto na Ausência de Informação Completa	O projeto pode prosseguir mesmo na ausência de informação completa no caso de um projeto desacoplado somente se a informação em falta é relacionada aos elementos não diagonais da matriz de projeto
Teorema 18 – Existência de um Projeto Não acoplado ou Desacoplado	Sempre existe um projeto não acoplado ou desacoplado com menos informação que um projeto acoplado.
Teorema 19 – Robustez de Projeto	Projetos não acoplados ou desacoplados são mais robustos que um projeto acoplado, uma vez que é mais simples reduzir o conteúdo de informação em projetos que satisfaçam o Axioma da Independência.
Teorema 20 – Intervalo de Projeto e Acoplamento	Se os intervalos de um projeto não acoplado ou desacoplado são apertados, estes podem tornar-se projetos acoplados, ao contrário, se um intervalo de um projeto acoplado é relaxado, o projeto pode se tornar ou desacoplado ou não acoplado.

Teorema 21 – Projeto Robusto Quando o Sistema tem uma Função Densidade de Probabilidade Não-Uniforme	Se a função densidade de probabilidade de um FR não é uniforme ao longo do intervalo de projeto, a probabilidade de sucesso é igual a um quando intervalo do sistema está contido no intervalo de projeto.
Teorema 22 – Robustez Comparativa de um Projeto Desacoplado	Dado o máximo intervalo de projeto para um conjunto de FR's, um projeto desacoplado não pode ser tão robusto quanto um não acoplado, uma vez que as tolerâncias permitidas para os DP's de um projeto desacoplado são menores que aquelas para um projeto não acoplado.
Teorema 23 – Robustez Decrescente em um Projeto Desacoplado	A tolerância permitida e, portanto, a robustez de um projeto desacoplado com uma matriz triangular completa, diminui com o aumento de FR's.
Teorema 24 – Planejamento Ótimo	Antes que o planejamento do movimento de um robô ou de fábrica possam ser otimizados, o projeto das tarefas deve ser feito de maneira a atender ao Axioma da Informação com a adição de “desacopladores” para eliminar acoplados, os desacopladores poder ser na forma de uma fila, um equipamento separado ou um <i>buffer</i> .
Teorema 25 – Sistemas “Puxados” versus Sistemas “Empurrados”	Quando peças idênticas são processadas por um sistema, um sistema “empurrado” pode ser projetado com o uso de desacopladores para maximizar a produtividade, quando peças não uniformes que requeiram operações diferentes são processadas, um sistema “puxado” é mais efetivo.
Teorema 26 – Conversão de um Sistema com Complexidade Combinatória Dependente do Tempo e Infinita em um Sistema com Complexidade Periódica	A incerteza associada a um projeto (ou um sistema) pode ser reduzida significativamente com a mudança de um projeto de complexidade combinatorial seriada para um projeto de complexidade periódica.

Anexo B

Definições dos Parâmetros Técnicos e dos Princípios de Invenção [19]

Parâmetros Técnicos

1. Peso (objeto móvel)

Massa do objeto em movimento num campo gravitacional.

2. Peso (objeto imóvel)

Massa do objeto imóvel num campo gravitacional.

3. Comprimento (objeto móvel)

Dimensão linear do objeto.

4. Comprimento (objeto imóvel)

Dimensão linear do objeto.

5. Área (objeto móvel)

Característica geométrica para descrever uma quantidade de espaço bidimensional, interna ou externa do objeto em movimento.

6. Área (objeto imóvel)

Característica geométrica para descrever uma quantidade de espaço bidimensional, interna ou externa do objeto imóvel.

7. Volume (objeto móvel)

Quantidade de espaço tridimensional ocupado por um objeto.

8. Volume (objeto imóvel)

Quantidade de espaço tridimensional ocupado por um objeto.

9. Velocidade

Distância percorrida por um objeto num determinado intervalo de tempo ou uma taxa em relação a um processo ou ação.

10. Força

Medida de interação que tenha como intenção modificar a condição de um objeto.

11. Tensão ou pressão

Força exercida por unidade de área.

12. Forma

Contorno externo de um componente ou sistema.

13. Estabilidade do objeto

Integridade do sistema, e o relacionamento dos seus elementos incluindo também nesta categoria a decomposição química, o desgaste, a dissociação e o aumento de entropia.

14. Resistência

Capacidade de um objeto se opor à aplicação de uma força.

15. Durabilidade (objeto móvel)

Intervalo de tempo em que o objeto pode executar uma ação, vida útil ou durabilidade.

16. Durabilidade (objeto imóvel)

Intervalo de tempo em que o objeto pode executar uma ação, vida útil ou durabilidade.

17. Temperatura

Condição térmica de um objeto ou sistema.

18. Claridade

Fluxo de luz por unidade de área, incluindo também características óticas como a cor, brilho, qualidade da luz, etc.

19. Energia dispensada (objeto móvel)

Medida da capacidade de um objeto efetuar uma ação.

20. Energia dispensada (objeto imóvel)

Medida da capacidade de um objeto efetuar uma ação.

21. Potência

Taxa na qual a ação é executada ou taxa de uso da energia.

22. Perda de energia

Ineficiência, energia gasta que não contribui para a execução da tarefa.

23. Perda de massa

Perda de massa de componentes do sistema, total ou parcial, permanente ou temporário

24. Perda de informação

Perda de dados ou acesso a eles, de ou para um sistema, que pode ser parcial ou total, permanente ou temporário. Nessa informação podem estar incluídos dados visuais, auditivos, táteis, olfativos ou gustativos.

25. Perda de tempo

Ineficiência do uso do tempo disponível.

26. Quantidade de matéria

Número ou quantidade de materiais, substâncias, peças ou subsistemas que podem ser alterados.

27. Fiabilidade

Capacidade de um sistema ou componente cumprir as tarefas pretendidas em determinadas condições.

28. Precisão de medição

Proximidade entre o valor medido e o valor real.

29. Precisão de fabrico

Proximidade entre as características reais de um sistema ou objeto e as características especificadas ou requeridas.

30. Fatores prejudiciais que atuam sobre o objeto

Suscetibilidade de um sistema aos efeitos prejudiciais externos.

31. Efeitos colaterais prejudiciais

Redução da eficiência ou da qualidade devido ao objeto como parte integrante da operação.

32. Manufaturabilidade

Facilidade de fabricação, manufatura, montagem e inspeção.

33. Conveniência do dispositivo

Simplicidade do processo.

34. Manutenção

Conveniência, conforto, simplicidade e tempo para reparar falhas ou defeitos de um sistema.

35. Adaptabilidade

Capacidade de um sistema responder positivamente a alterações externas, inclusive o seu uso em múltiplas formas e sob diferentes condições.

36. Complexidade do dispositivo

Número e diversidade de elementos e relacionamento entre si dentro do sistema.

37. Complexidade no controle

O controle de sistemas é complexo, custoso, requer muito tempo e mão-de-obra.

38. Nível de automação

Capacidade de um sistema ou objeto executar tarefas sem a intervenção humana.

39. Produtividade

Número de funções ou operações realizadas por um sistema por unidade de tempo. Tempo por unidade de função ou operação. Saída por unidade de tempo ou custo por unidade de saída.

Princípios de Invenção

- 1) Segmentação
 - a) Dividir um objeto em partes independentes;
 - b) Fazer um objeto em secções;
 - c) Aumentar o grau de segmentação de um objeto.
- 2) Extração
 - a) Extrair (remover ou separar) uma parte "perturbadora" ou propriedade de um objeto,
 - b) Extrair apenas a parte necessária ou propriedade.
- 3) Qualidade local
 - a) Transição de uma estrutura homogénea de um objeto ou ambiente exterior/ação para uma estrutura heterogénea;
 - b) Ter diferentes partes do objeto a realizar diferentes funções;
 - c) Colocar cada parte do objeto sob condições mais favoráveis para a sua operação.
- 4) Assimetria
 - a) Substituir uma forma simétrica com uma que é assimétrica;
 - b) Se um objeto já é assimétrico, aumentar o grau de assimetria.
- 5) Combinação
 - a) Consolidar ou combinar em espaços objetos homogéneos ou objetos projetados para operação contínua;
 - b) Consolidar ou combinar no tempo operações homogéneas ou continuas;
- 6) Universalização
 - a) Ter o objeto a executar várias funções, eliminando assim a necessidade de qualquer outro objeto ou objetos.
- 7) Nidificação
 - a) Conter o objeto dentro de outro que, por sua vez, é colocado dentro de um terceiro objeto;
 - b) Passar um objeto através de uma cavidade de um outro objeto.
- 8) Contrapeso
 - a) Compensar o peso do objeto, unindo-o com outro objeto que tem uma força de elevação;
 - b) Compensar o peso de um objeto por interação com um ambiente proporcionando forças aerodinâmicas ou hidrodinâmicas.
- 9) Contra-acção prévia
 - a) Realizar uma neutralização com antecedência;
 - b) Se o objeto está (ou estará) sob tensão, fornecer anti tensão antecipadamente.
- 10) Ação prévia
 - a) Realizar toda ou parte da ação requerida com antecedência;

- b) Organizar os objetos para que eles possam entrar em ação numa questão pontual e de uma posição conveniente.
- 11) Amortecimento prévio
- a) Compensar a fiabilidade relativamente baixa de um objeto por contra medidas tomadas com antecedência.
- 12) Equipotencialidade
- a) Alterar as condições de trabalho de modo a que um objeto não precise de ser levantado ou baixado.
- 13) Inversão
- a) Em vez de uma ação ditada pelas especificações do problema, implementar uma ação oposta;
 - b) Fazer uma parte do objeto móvel ou do ambiente externo imóvel e da parte não móvel, móvel;
 - c) Virar o objeto de cabeça para baixo.
- 14) Esfericidade
- a) Substituir peças lineares ou superfícies planas por curvas; substituir as formas cúbicas por formas esféricas;
 - b) Usar rolos, bolas ou espirais;
 - c) Substituir um movimento linear por um movimento de rotação; utilizar uma força centrífuga.
- 15) Dinamismo
- a) Fazer um objeto ou seu ambiente ajustar-se automaticamente para um ótimo desempenho em cada fase da operação;
 - b) Dividir um objeto em elementos que podem mudar de posição em relação de um ao outro;
 - c) Se um objeto é imóvel, torná-lo móvel ou permutável.
- 16) Ação parcial ou excessiva
- a) Se é difícil a obtenção de 100% de um efeito desejado, alcançar um pouco mais ou menos do que este, a fim de simplificar o problema.
- 17) Transição para nova dimensão
- a) Remover os problemas com a movimentação de um objeto numa linha através da incorporação de duas dimensões no movimento (ou seja, ao longo de um plano);
 - b) Usar um conjunto de multicamadas de objetos em vez de uma única camada;
 - c) Inclinar o objeto ou virá-lo de lado.
- 18) Vibrações mecânicas
- a) Pôr um objeto em oscilação;
 - b) Se existe oscilação, aumentar a sua frequência, mesmo tão longe quanto os ultrassons;
 - c) Utilizar a frequência de ressonância do objeto;

- d) Em vez de vibrações mecânicas, utilizar piezovibradores;
 - e) Usar vibrações ultrassônicas, em conjunto com um campo eletromagnético.
- 19) Ação periódica
- a) Substituir uma ação contínua por uma (pulsada) periódica;
 - b) Se uma ação já é periódica, alterar a frequência;
 - c) Usar pulsos entre impulsos para fornecer ações adicionais.
- 20) Continuidade de uma ação útil
- a) Executar uma ação contínua (isto é, sem pausas), onde todas as partes de um objeto operam em plena capacidade;
 - b) Remover movimentos ociosos e intermediários.
- 21) Corrida apressada
- a) Executar operações nocivas ou perigosas a uma velocidade muito elevada.
- 22) Conversão do prejuízo em proveito
- a) Utilizam fatores prejudiciais ou efeitos ambientais para se obter um efeito positivo;
 - b) Remover um fator prejudicial, combinando-a com um outro fator prejudicial;
 - c) Aumentar a quantidade de ação prejudicial até que deixe de ser prejudicial.
- 23) Reação
- a) Introdução da retroação;
 - b) Se a retroação já existe, invertê-la.
- 24) Mediação
- a) Usar um objeto intermediário para transferir ou executar uma ação;
 - b) Conectar temporariamente um objeto num outro que seja fácil de remover.
- 25) Autosserviço
- a) Fazer o objeto servir-se a ele mesmo e a realizar operações complementares e reparação;
 - b) Fazer uso de material desperdiçado e de energia.
- 26) Cópia
- a) Usar uma cópia simples e barata, em vez de um objeto que é complexo, caro, frágil ou inconveniente para operar;
 - b) Substituir um objeto pela sua cópia ótica ou imagem. Uma escala pode ser usada para reduzir ou aumentar a imagem;
 - c) Se são utilizadas cópias óticas, substituí-las por cópias infravermelhas ou ultravioletas.
- 27) Objeto económico com vida curta (descartável)
- a) Substituir um objeto caro por uma coleção mais barata, renunciando propriedades (por exemplo, a longevidade).
- 28) Substituição de sistema mecânico
- a) Substituir um sistema mecânico por um dispositivo ótico, acústico ou sistema olfativo (odor);

- b) Utilizar um campo elétrico, magnético ou eletromagnético para a interação com o objeto;
 - c) Substituir os campos:
 - i. Campos estacionárias por campos que se deslocam;
 - ii. Campos fixos por aqueles que mudam com o tempo;
 - iii. Campos aleatórios por campos estruturados;
 - d) Usar um campo em conjunção com partículas ferromagnéticas.
- 29) Utilização de sistemas pneumáticos ou hidráulicos
- a) Substituir peças sólidas de um objeto por gás ou líquido. Estas peças podem usar ar ou água para a insuflação, ou usar almofadas de ar ou hidrostáticas.
- 30) Membranas flexíveis ou películas finas
- a) Substituir construções tradicionais pelos feitos de "conchas" flexíveis ou filmes finos;
 - b) Isolar um objeto do seu ambiente usando "conchas" flexíveis ou filmes finos.
- 31) Uso de materiais porosos
- a) Fazer um objeto poroso ou adicionar elementos porosos (inserções, capas, etc.);
 - b) Se um objeto já é poroso, preencher os poros com antecedência com alguma substância.
- 32) Mudança de cor
- a) Mudar a cor de um objeto ou os seus arredores;
 - b) Alterar o grau de translucidez de um objeto ou de um processo que é difícil de ver;
 - c) O uso de aditivos coloridos para observar um objeto ou um processo que é difícil de ver;
 - d) Se tais aditivos já são utilizados, usar vestígios luminescentes ou elementos traçadores.
- 33) Homogeneidade
- a) Fazer os objetos interagir com um objeto primário do mesmo material, que é próximo dele no comportamento.
- 34) Rejeição e recuperação de componentes
- a) Depois de ter concluído a sua função ou de se ter tornado inútil, rejeitar ou modificar (por exemplo, descartar, dissolver, evaporar) um elemento de um objeto;
 - b) Restaurar imediatamente qualquer parte de um objeto que está esgotado ou exaurido.
- 35) Transformação do estado físico ou químico
- a) Mudar o estado de agregação de um objeto, distribuição da densidade, do grau de flexibilidade, ou temperatura.
- 36) Mudança de fase
- a) Implementar um efeito desenvolvido durante a fase de transição de uma substância, por exemplo, a libertação ou a absorção de calor que acompanha uma mudança no volume.
- 37) Expansão térmica
- a) Usar um material que se expande ou se contraia com o calor;
 - b) Usar vários materiais com diferentes coeficientes de expansão térmica.
- 38) Utilização de oxidantes fortes

- a) Substituir o ar normal com ar enriquecido;
- b) Substituir o ar enriquecido com oxigénio;
- c) Tratar um objeto em ar ou em oxigénio com radiação ionizante;
- d) Usar o oxigénio ionizado.

39) Ambiente inerte

- a) Substituir o ambiente normal por um inerte;
- b) Realizar o processo em vácuo.

40) Materiais compósitos

- a) Substituir um material homogéneo por um compósito.

Anexo C

Matriz de contradições, adaptado de [19]

			Parâmetros de engenharia piorados								Princípios inventivos	
			1	2	3	4	5	6	7	8	1	
Parâmetros de engenharia a ser melhorados	1	Peso (objeto móvel)		-	15, 8, 29, 34	-	29, 17, 38, 34	-	29, 2, 40, 28	-	2	Segmentação
	2	Peso (objeto imóvel)	-		-	10, 1, 29, 35	-	35, 30, 13, 2	-	5, 35, 14, 2	3	Extração
	3	Comprimento (objeto móvel)	15, 8, 29, 34	-		-	15, 17, 4	-	7, 17, 4, 35	-	4	Qualidade local
	4	Comprimento (objeto imóvel)	-	35, 28, 40, 29	-		-	17, 7, 10, 40	-	35, 8, 2, 14	5	Assimetria
	5	Área (objeto móvel)	2, 17, 29, 4	-	14, 15, 18, 4	-		-	7, 14, 17, 4	-	6	Combinação
	6	Área (objeto imóvel)	-	30, 2, 14, 18	-	26, 7, 9, 39	-		-	-	7	Universidade
	7	Volume (objeto móvel)	2, 26, 29, 40	-	1, 7, 35, 4	-	1, 7, 4, 17	-		-	8	Nidificação
	8	Volume (objeto imóvel)	-	35, 10, 19, 14	19, 14	35, 8, 2, 14	-	-	-		9	Contrapeso
	9	Velocidade	2, 28, 13, 38	-	13, 14, 8	-	29, 30, 34	-	7, 29, 34	-	10	Contra-ação prévia
	10	Força	8, 1, 37, 18	18, 13, 1, 28	17, 19, 9, 36	28, 1	19, 10, 15	1, 18, 36, 37	15, 9, 12, 37	2, 36, 18, 37	11	Ação prévia
	11	Tensão, Pressão	10, 36, 37, 40	13, 29, 10, 18	35, 10, 36	35, 1, 14, 16	10, 15, 36, 37	10, 15, 6, 35, 10	6, 35, 35, 34		12	Amortecimento prévio
	12	Forma	8, 10, 29, 40	15, 10, 26, 3	29, 34, 5, 4	13, 14, 10, 7	5, 34, 4, 10	-	14, 4, 15, 22, 35	7, 2, 35	13	Equipotencialidade
	13	Estabilidade do objeto	21, 35, 2, 39	26, 39, 1, 40	13, 15, 1, 28	37	2, 11, 13	39	28, 10, 34, 28, 19, 39	34, 28, 35, 40	14	Inversão
	14	Resistência	1, 8, 40, 15	40, 26, 27, 1	1, 15, 8, 35	15, 14, 28, 26	3, 34, 40, 29	9, 40, 28	10, 15, 9, 14, 17, 15		15	Esfericidade
	15	Durabilidade (objeto móvel)	19, 5, 34, 31	-	2, 19, 9	-	3, 17, 19	-	10, 2, 19, 30	-	16	Dinamismo
	16	Durabilidade (objeto imóvel)	-	6, 27, 19, 16	-	1, 40, 35	-	-	-	35, 34, 38	17	Ação parcial ou excessiva
	17	Temperatura	36, 22, 6, 38	22, 35, 32	15, 19, 9	15, 19, 9	3, 35, 39, 18	35, 38	34, 39, 40, 18	35, 6, 4	18	Transição para uma nova dimensão
	18	Clareza	19, 1, 32	2, 35, 32	19, 32, 16	-	19, 32, 26	-	2, 13, 10	-	19	Vibrações mecânicas
	19	Energia dispensada (objeto móvel)	12, 18, 28, 31	-	12, 28	-	15, 19, 25	-	35, 13, 18	-	20	Ação periódica
	20	Energia dispensada (objeto imóvel)	-	19, 9, 6, 27	-	-	-	-	-	-	21	Continuidade de uma ação útil
	21	Potência	8, 36, 38, 31	19, 26, 17, 27	1, 10, 35, 37	-	19, 38	17, 32, 13, 38	35, 6, 38	30, 6, 25	22	Corrida apressada
	22	Perda de energia	15, 6, 19, 28	19, 6, 7, 2, 6, 13	6, 38, 7	15, 26, 17, 30	17, 7, 30, 18	7, 18, 23	7		23	Conversão de prejuízo em proveito
	23	Perda de massa	35, 6, 23, 40	35, 6, 22, 32	14, 29, 10, 39	10, 28, 24	35, 2, 10, 31	10, 18, 39, 31	1, 29, 30, 36	3, 39, 18, 31	24	Reação
	24	Perda de informação	10, 24, 35	10, 35, 5	1, 26	26	30, 26	30, 16	-	2, 22	25	Medição
	25	Perda de tempo	10, 20, 37, 35	10, 20, 26, 5	15, 2, 29	30, 24, 14, 5	26, 4, 5, 16	10, 35, 17, 4	2, 5, 34, 10	35, 16, 32, 18	26	Auto-serviço
	26	Quantidade de matéria	35, 6, 18, 31	27, 26, 18, 35	29, 14, 35, 18	-	15, 14, 29, 40, 4	2, 18, 29	15, 20, 29	-	27	Cópia
	27	Fiabilidade	3, 8, 10, 40	3, 10, 8, 28	15, 9, 14, 4	15, 29, 28, 11	17, 10, 14, 16	32, 35, 40, 4	3, 10, 14, 24	2, 35, 24	28	Objeto econômico com vida curta (descartável)
	28	Precisão de medição	32, 35, 26, 28	28, 35, 25, 26	28, 26, 5, 16	32, 28, 3, 16	26, 28, 32, 3	26, 28, 32, 3	32, 13, 6	-	29	Substituição do sistema mecânico
	29	Precisão de fabrico	28, 32, 13, 18	28, 35, 27, 9	10, 28, 29, 37	2, 32, 10	28, 33, 29, 32	2, 29, 18, 36	32, 28, 2, 35	25, 10, 35	30	Utilização de sistemas pneumáticos ou hidráulicos
	30	Fatores prejudiciais que atuam sobre o objeto	22, 21, 27, 39	2, 22, 13, 24	17, 1, 39, 4	1, 18	22, 1, 33, 28	27, 2, 39, 35	22, 23, 34, 39, 37, 35		31	Membranas flexíveis ou películas finas
	31	Efeitos colaterais prejudiciais	19, 22, 15, 39	35, 22, 1, 39	17, 15, 16, 22	-	17, 2, 18, 39	22, 1, 40	17, 2, 40	30, 18, 35, 4	32	Utilização de materiais porosos
	32	Manufaturabilidade	28, 29, 15, 16	1, 27, 36, 13	1, 29, 13, 17	15, 17, 27	13, 1, 26, 12	16, 4	13, 29, 1, 40	35	33	Mudança de cor
	33	Conveniência de uso	25, 2, 13, 15	6, 13, 1, 25	1, 17, 13, 12	-	1, 17, 13, 16	18, 16, 15, 39	1, 16, 35, 15	4, 18, 31, 39	34	Homogeneidade
	34	Manutenção	2, 27, 35, 11	2, 27, 35, 11	1, 28, 10, 25	3, 18, 31	15, 32, 13	16, 25	25, 2, 35, 11	1	35	Rejeição e recuperação de componentes
	35	Adaptabilidade	1, 6, 15, 8	19, 15, 29, 16	35, 1, 29, 2	1, 35, 16	35, 30, 29, 7	15, 16	15, 35, 29	-	36	Transformação do estado físico ou químico
	36	Complexidade do dispositivo	26, 30, 34, 36	2, 26, 35, 39	1, 19, 26, 24	26	14, 1, 13, 16	6, 36	34, 26, 6	1, 16	37	Mudança de fase
	37	Complexidade no controlo	27, 26, 28, 13	6, 13, 28, 1	16, 17, 26, 24	26	2, 13, 18, 17	2, 39, 30, 16	29, 1, 4, 16	2, 18, 26, 31	38	Expansão térmica
	38	Nível de automação	28, 26, 18, 35	28, 26, 35, 10	14, 13, 28, 17	23	17, 14, 13	-	35, 13, 16	-	39	Utilização de oxidantes fortes
	39	Produtividade	35, 26, 24, 37	28, 27, 15, 3	18, 4, 28, 38	30, 7, 14, 26	10, 26, 34, 31	10, 35, 17, 7	2, 6, 34, 10	35, 37, 10, 2	40	Ambiente inerte
												40

		Pâmetros de engenharia piorados								Princípios inventivos	
		9	10	11	12	13	14	15	16		
Pâmetros de engenharia a ser melhorados	1	Peso (objeto móvel)	2, 8, 15, 38	8, 10, 18, 37	10, 36, 37, 40	10, 14, 35, 40	1, 35, 19, 39	28, 27, 18, 40	5, 34, 31, 35	-	1 Segmentação
	2	Peso (objeto imóvel)	-	8, 10, 19, 35	13, 29, 10, 18	13, 10, 29, 14	26, 39, 1, 40	18, 2, 10, 27	-	2, 27, 19, 6	2 Extração
	3	Comprimento (objeto móvel)	13, 4, 8	17, 10, 4	1, 8, 35	1, 8, 10, 29	1, 8, 15, 34	8, 35, 29, 34	19	-	3 Qualidade local
	4	Comprimento (objeto imóvel)	-	28, 1	1, 14, 35	13, 14, 15, 7	39, 37, 35	15, 14, 28, 26	-	1, 40, 35	4 Assimetria
	5	Área (objeto móvel)	29, 30, 4, 34	19, 30, 35, 2	10, 15, 36, 28	5, 34, 29, 4	11, 2, 13, 39	3, 15, 40, 14	6, 3	-	5 Combinação
	6	Área (objeto imóvel)	-	1, 18, 35, 36	10, 15, 36, 37	-	2, 38	40	-	2, 10, 19, 30	6 Universidade
	7	Volume (objeto móvel)	29, 4, 38, 34	15, 35, 36, 37	6, 35, 36, 37	1, 15, 29, 4	28, 10, 1, 39	9, 14, 15, 7	6, 35, 4	-	7 Nidificação
	8	Volume (objeto imóvel)	-	2, 18, 37	24, 35	35	34, 28, 7, 2, 35, 40	9, 14, 17, 15	-	35, 34, 38	8 Contrapeso
	9	Velocidade	-	13, 28, 15, 19	6, 18, 38, 40	35, 15, 28, 34	28, 33, 1, 18	8, 3, 26, 14	3, 19, 35, 5	-	9 Contra-acção prévia
	10	Força	13, 28, 15, 12	-	18, 21, 11	10, 35, 40, 34	35, 10, 21	35, 10, 14, 27	19, 2	-	10 Ação prévia
	11	Tensão, Pressão	6, 35, 36	36, 35, 21	-	35, 4, 15, 10	35, 33, 2, 40	9, 18, 3, 40	19, 3, 27	-	11 Amortecimento prévio
	12	Forma	35, 15, 34, 18	35, 10, 37, 40	34, 15, 10, 14	-	31, 1, 18, 4	30, 14, 10, 40	14, 26, 9, 25	-	12 Equipotencialidade
	13	Estabilidade do objeto	33, 15, 28, 18	10, 35, 21, 16	2, 35, 40	22, 1, 18, 4	-	17, 9, 15	13, 27, 10, 35	39, 3, 35, 23	13 Inversão
	14	Resistência	8, 13, 26, 14	10, 18, 3, 14	10, 3, 18, 40	10, 30, 35, 40	13, 17, 35	-	27, 3, 26	-	14 Esfericidade
	15	Durabilidade (objeto móvel)	3, 35, 5	19, 2, 16	19, 3, 27	14, 26, 28, 25	13, 3, 35	27, 3, 10	-	-	15 Dinamismo
	16	Durabilidade (objeto imóvel)	-	-	-	-	39, 3, 35, 23	-	-	-	16 Ação parcial ou excessiva
	17	Temperatura	2, 28, 36, 30	35, 10, 3, 21	35, 39, 19, 2	14, 22, 19, 32	1, 35, 32	10, 30, 22, 40	19, 13, 39	19, 18, 36, 40	17 Transição para uma nova dimensão
	18	Clareza	10, 13, 19	26, 19, 6	-	32, 30	32, 3, 20, 27	35, 19	2, 19, 6	-	18 Vibrações mecânicas
	19	Energia dispensada (objeto móvel)	8, 15, 35	16, 26, 21	23, 14, 25	12, 2, 29	19, 13, 17, 24	5, 19, 9, 35	28, 35, 6, 18	-	19 Ação periódica
	20	Energia dispensada (objeto imóvel)	-	36, 37	-	-	27, 4, 29, 18	35	-	-	20 Continuidade de uma ação útil
	21	Potência	15, 35, 2	26, 2, 36, 35	22, 10, 35	29, 14, 2, 40	35, 32, 15, 31	26, 10, 28	19, 35, 10, 38	16	21 Corrida apressada
	22	Perda de energia	16, 35, 38	36, 38	-	-	14, 2, 39, 6	26	-	-	22 Conversão de prejuízo em proveito
	23	Perda de massa	10, 13, 28, 38	14, 15, 18, 40	3, 36, 37, 10	29, 35, 3, 5	2, 14, 30, 40	35, 28, 31, 40	28, 27, 3, 18	27, 16, 10, 38	23 Reação
	24	Perda de informação	26, 32	-	-	-	-	-	10	10	24 Medição
	25	Perda de tempo	-	10, 37, 36, 5	37, 36, 4	4, 10, 34, 17	35, 3, 22, 5	29, 3, 28, 18	20, 10, 28, 18	28, 20, 10, 16	25 Auto-serviço
	26	Quantidade de matéria	35, 29, 34, 26	35, 14, 3	10, 36, 14, 3	35, 14	15, 2, 17, 40	14, 35, 34, 10	3, 35, 10, 40	3, 35, 31	26 Cópia
	27	Fiabilidade	21, 35, 11, 28	8, 28, 10, 3	10, 24, 35, 19	35, 1, 16, 11	-	11, 28	2, 35, 3, 25	34, 27, 6, 40	27 Objeto económico com vida curta (descartável)
	28	Precisão de medição	28, 13, 32, 24	32, 2	6, 28, 32	6, 28, 32	32, 35, 13	28, 6, 32	10, 26, 24	-	28 Substituição do sistema mecânico
	29	Precisão de fabrico	10, 28, 32	28, 19, 34, 36	3, 35	32, 30, 40	30, 18	3, 27	3, 27, 40	-	29 Utilização de sistemas pneumáticos ou hidráulicos
	30	Fatores prejudiciais que atuam sobre o objeto	21, 22, 35, 28	13, 35, 39, 18	22, 2, 37	22, 1, 3, 35	35, 24, 30, 18	18, 35, 37, 1	22, 15, 33, 28	17, 1, 40, 33	30 Membranas flexíveis ou películas finas
	31	Efeitos colaterais prejudiciais	35, 28, 3, 23	35, 28, 1, 40	2, 33, 27, 18	35, 1	35, 40, 27, 39	15, 35, 22, 2	15, 22, 33, 31	21, 39, 16, 22	31 Utilização de materiais porosos
	32	Manufaturabilidade	35, 13, 8, 1	35, 12	35, 19, 1, 37	1, 28, 13, 27	11, 13, 1	1, 3, 10, 32	27, 1, 4	35, 16	32 Mudança de cor
	33	Conveniência de uso	18, 13, 34	28, 13, 35	2, 32, 12	15, 34, 29, 28	32, 35, 30	32, 40, 3, 28	29, 3, 8, 25	1, 16, 25	33 Homogeneidade
	34	Manutenção	34, 9	1, 11, 10	13	1, 13, 2, 4	2, 35	1, 11, 2, 9	11, 29, 28, 27	1	34 Rejeição e recuperação de componentes
	35	Adaptabilidade	35, 10, 14	15, 17, 20	35, 16	15, 37, 1, 8	35, 30, 14	35, 3, 32, 6	13, 1, 35	2, 16	35 Transformação do estado físico ou químico
	36	Complexidade do dispositivo	34, 10, 28	26, 16	19, 1, 35	29, 13, 28, 15	2, 22, 17, 19	2, 13, 28	10, 4, 28, 15	-	36 Mudança de fase
	37	Complexidade no controlo	3, 4, 16, 35	36, 28, 40, 19	35, 36, 37, 32	27, 13, 1, 39	11, 22, 39, 30	27, 3, 15, 28	19, 29, 25, 39	25, 34, 6, 35	37 Expansão térmica
	38	Nível de automação	28, 10	2, 35	13, 35	15, 32, 1, 13	18, 1	25, 13	6, 9	-	38 Utilização de oxidantes fortes
	39	Produtividade	-	28, 15, 10, 36	10, 37, 14	14, 10, 34, 40	35, 3, 22, 39	29, 28, 10, 18	35, 10, 2, 18	22, 10, 16, 38	39 Ambiente inerte
											40 Materiais compósitos

			Pârametros de engenharia piorados								Princípios inventivos	
			17	18	19	20	21	22	23	24	1	Segmentação
Pâramtros de engenharia a ser melhorados	1	Peso (objeto móvel)	6, 29, 4, 38	19, 1, 32	35, 12, 34, 31	-	12, 36, 18, 31	6, 2, 34, 19	5, 35, 3, 31	10, 24, 35	2	Extração
	2	Peso (objeto imóvel)	28, 19, 32, 22	35, 19, 32	-	18, 19, 28, 1	15, 19, 18, 22	18, 19, 28, 15	5, 8, 13, 30	10, 15, 35	3	Qualidade local
	3	Comprimento (objeto móvel)	10, 15, 19	32	8, 35, 24	-	1, 35	7, 2, 35, 39	4, 29, 23, 10	1, 24	4	Assimetria
	4	Comprimento (objeto imóvel)	3, 35, 38, 18	3, 25	-	-	12, 8	6, 28	10, 28, 24, 35	24, 26	5	Combinação
	5	Área (objeto móvel)	2, 15, 16	15, 32, 19, 13	19, 32	-	19, 10, 32, 18	15, 17, 30, 26	10, 35, 2, 39	30, 26	6	Universidade
	6	Área (objeto imóvel)	35, 39, 38	-	-	-	17, 32	17, 7, 30	10, 14, 18, 39	30, 16	7	Nidificação
	7	Volume (objeto móvel)	34, 39, 10, 18	10, 13, 2	35	-	35, 6, 3, 18	7, 15, 13, 16	36, 39, 34, 10	2, 22	8	Contrapeso
	8	Volume (objeto imóvel)	35, 6, 4	-	-	-	30, 6	-	10, 39, 35, 34	-	9	Contra-acção prévia
	9	Velocidade	28, 30, 36, 2	10, 13, 19	8, 15, 35, 38	-	19, 35, 38, 2	14, 20, 19, 35	10, 13, 28, 38	13, 26	10	Ação prévia
	10	Força	35, 10, 21	-	19, 17, 10	1, 16, 36, 37	19, 35, 18, 37	14, 15	8, 35, 40, 5	-	11	Amortecimento prévio
	11	Tensão, Pressão	35, 39, 19, 2	-	14, 24, 10, 37	-	10, 35, 14	2, 36, 25	10, 36, 37	-	12	Equipotencialidade
	12	Forma	22, 14, 19, 32	13, 15, 32	2, 6, 34, 14	-	4, 6, 2	14	35, 29, 3, 5	-	13	Inversão
	13	Estabilidade do objeto	35, 1, 32	32, 3, 27, 15	13, 19	27, 4, 29, 18	32, 35, 27, 31	14, 2, 39, 6	2, 14, 30, 40	-	14	Esfericidade
	14	Resistência	30, 10, 40	35, 19	19, 35, 10	35	10, 26, 35, 28	35	35, 28, 31, 40	-	15	Dinamismo
	15	Durabilidade (objeto móvel)	19, 35, 39	2, 19, 4, 35	28, 6, 35, 18	-	19, 10, 35, 38	-	28, 27, 3, 18	10	16	Ação parcial ou excessiva
	16	Durabilidade (objeto imóvel)	19, 18, 36, 40	-	-	-	16	-	27, 16, 18, 38	10	17	Transição para uma nova dimensão
	17	Temperatura	32, 30, 21, 16	19, 15, 3, 17	-	-	2, 14, 17, 25	21, 17, 35, 38	21, 36, 29, 31	-	18	Vibrações mecânicas
	18	Claridade	32, 35, 19	32, 1, 19	32, 35, 1, 15	32	19, 16, 1, 6	13, 1	1, 6	-	19	Ação periódica
	19	Energia dispensada (objeto móvel)	19, 24, 3, 13	2, 15, 19	-	-	6, 19, 37, 18	12, 22, 15, 24	35, 24, 18, 5	-	20	Continuidade de uma ação útil
	20	Energia dispensada (objeto imóvel)	-	19, 2, 35, 32	-	-	-	-	28, 27, 18, 31	-	21	Corrida apressada
	21	Potência	2, 14, 17, 25	16, 6, 19	16, 6, 19, 37	-	-	10, 35, 38	28, 27, 18, 38	10, 19	22	Conversão de prejuízo em proveito
	22	Perda de energia	19, 38, 7	1, 13, 32, 15	-	-	3, 38	-	35, 27, 2, 37	19, 10	23	Reação
	23	Perda de massa	21, 36, 39, 31	1, 6, 13	35, 18, 24, 5	28, 27, 12, 31	28, 27, 18, 38	35, 27, 2, 31	-	-	24	Medição
	24	Perda de informação	-	19	-	-	10, 19	19, 10	-	-	25	Auto-serviço
	25	Perda de tempo	35, 29, 21, 18	1, 19, 21, 17	35, 38, 19, 18	1	35, 20, 10, 6	10, 5, 18, 32	35, 18, 10, 39	24, 26, 28, 34	26	Cópia
	26	Quantidade de matéria	3, 17, 39	-	34, 29, 16, 18	3, 35, 31	35	7, 18, 25	6, 3, 10, 24	24, 28, 35	27	Objeto económico com vida curta (descartável)
	27	Fiabilidade	3, 35, 10	11, 32, 13	21, 11, 27, 19	36, 23	21, 11, 26, 31	10, 11, 35	10, 35, 29, 39	10, 28	28	Substituição do sistema mecânico
	28	Precisão de medição	6, 19, 28, 24	6, 1, 32	3, 6, 32	-	3, 6, 32	26, 32, 27	10, 16, 31, 28	-	29	Utilização de sistemas pneumáticos ou hidráulicos
	29	Precisão de fabrico	19, 26	3, 32	32, 2	-	32, 2	13, 32, 2	35, 31, 10, 24	-	30	Membranas flexíveis ou películas finas
	30	Fatores prejudiciais que atuam sobre o objeto	22, 33, 35, 2	1, 19, 32, 13	1, 24, 6, 27	10, 2, 22, 37	19, 22, 31, 2	21, 22, 35, 2	33, 22, 19, 40	22, 10, 2	31	Utilização de materiais porosos
	31	Efeitos colaterais prejudiciais	22, 35, 2, 24	19, 24, 39, 32	2, 35, 6	19, 22, 18	2, 35, 18	21, 35, 22, 2	10, 1, 34	10, 21, 29	32	Mudança de cor
	32	Manufaturabilidade	27, 26, 18	28, 24, 27, 1	28, 26, 27, 1	1, 4	27, 1, 12, 24	19, 35	15, 34, 33	32, 24, 18, 16	33	Homogeneidade
	33	Conveniência de uso	26, 27, 13	13, 17, 1, 24	1, 13, 24	-	35, 34, 2, 10	2, 19, 13	28, 32, 2, 24	4, 10, 27, 22	34	Rejeição e recuperação de componentes
	34	Manutenção	4, 10	15, 1, 13	15, 1, 28, 16	-	15, 10, 32, 2	15, 1, 32, 19	2, 35, 34, 27	-	35	Transformação do estado físico ou químico
	35	Adaptabilidade	27, 2, 3, 35	6, 22, 26, 1	19, 35, 29, 13	-	19, 1, 29	18, 15, 1	15, 10, 2, 13	-	36	Mudança de fase
	36	Complexidade do dispositivo	2, 17, 13	24, 17, 13	27, 2, 29, 28	-	20, 19, 30, 34	10, 35, 13, 2	35, 10, 28, 29	-	37	Expansão térmica
	37	Complexidade no controlo	3, 27, 35, 16	2, 24, 26	35, 38	19, 35, 16	19, 1, 16, 10	35, 3, 15, 19	1, 18, 10, 24	35, 33, 27, 22	38	Utilização de oxidantes fortes
	38	Nível de automação	26, 2, 19	8, 32, 19	2, 32, 13	-	28, 2, 27	23, 28	35, 10, 18, 5	35, 33	39	Ambiente inerte
	39	Produtividade	35, 21, 28, 10	26, 17, 19, 1	35, 10, 38, 19	1	35, 20, 10	28, 10, 29, 35	28, 10, 35, 23	13, 15, 23	40	Materiais compósitos

		Pâmetros de engenharia piorados								Princípios inventivos		
		25	26	27	28	29	30	31	32	1	Segmentação	
Pâmetros de engenharia a ser melhorados	1	Peso (objeto móvel)	10, 35, 20, 28	3, 26, 18, 31	3, 11, 1, 27	28, 27, 35, 26	28, 35, 26, 18	22, 21, 18, 27	22, 35, 31, 39	27, 28, 1, 36	2	Extração
	2	Peso (objeto imóvel)	10, 20, 35, 26	19, 6, 18, 26	10, 28, 8, 3	18, 26, 28	10, 1, 35, 17	2, 19, 22, 37	35, 22, 1, 39	28, 1, 9	3	Qualidade local
	3	Comprimento (objeto móvel)	15, 2, 29	29, 35	10, 14, 29, 40	28, 32, 4	10, 28, 29, 37	1, 15, 17, 24	17, 15	1, 29, 17	4	Assimetria
	4	Comprimento (objeto imóvel)	30, 29, 14	-	15, 29, 28	32, 28, 3	2, 32, 10	1, 18	-	15, 17, 27	5	Combinação
	5	Área (objeto móvel)	26, 4	29, 30, 6, 13	29, 9	26, 28, 32, 3	2, 32	22, 33, 28, 1	17, 2, 18, 39	13, 1, 26, 24	6	Universidade
	6	Área (objeto imóvel)	10, 35, 4, 18	2, 18, 40, 4	32, 35, 40, 4	26, 28, 32, 3	2, 29, 18, 36	27, 2, 39, 35	22, 1, 40	40, 16	7	Nidificação
	7	Volume (objeto móvel)	2, 6, 34, 10	29, 30, 7	14, 1, 40, 11	25, 26, 28	25, 28, 2, 16	22, 21, 27, 35	17, 2, 40, 1	29, 1, 40	8	Contrapeso
	8	Volume (objeto imóvel)	35, 16, 32, 18	35, 3	2, 35, 16	-	35, 10, 25	34, 39, 19, 27	30, 18, 35, 4	35	9	Contra-acção prévia
	9	Velocidade	-	10, 19, 29, 38	11, 35, 27, 28	28, 32, 1, 24	10, 28, 32, 25	1, 28, 35, 23	2, 24, 32, 21	35, 13, 8, 1	10	Ação prévia
	10	Força	10, 37, 36	14, 29, 18, 36	3, 35, 13, 21	35, 10, 23, 24	28, 29, 37, 36	1, 35, 40, 18	13, 3, 36, 24	15, 37, 18, 1	11	Amortecimento prévio
	11	Tensão, Pressão	37, 36, 4	10, 14, 36	10, 13, 19, 35	6, 28, 25	3, 35	22, 2, 37	2, 33, 27, 18	1, 35, 16	12	Equipotencialidade
	12	Forma	14, 10, 34, 17	36, 22	10, 40, 16	28, 32, 1	32, 30, 40	22, 1, 2, 35	35, 1	1, 32, 17, 28	13	Inversão
	13	Estabilidade do objeto	35, 27	15, 32, 35	-	13	18	35, 23, 18, 30	35, 40, 27, 39	35, 19	14	Esfericidade
	14	Resistência	29, 3, 28, 10	29, 10, 27	11, 3	3, 27, 16	3, 27	18, 35, 37, 1	15, 35, 22, 2	11, 3, 10, 32	15	Dinamismo
	15	Durabilidade (objeto móvel)	20, 10, 28, 18	3, 35, 10, 40	11, 2, 13	3	3, 27, 16, 40	22, 15, 33, 28	21, 39, 16, 22	27, 1, 4	16	Ação parcial ou excessiva
	16	Durabilidade (objeto imóvel)	28, 20, 10, 16	3, 35, 31	34, 27, 6, 40	10, 26, 24	-	17, 1, 40, 33	22	35, 10	17	Transição para uma nova dimensão
	17	Temperatura	35, 28, 21, 18	3, 17, 30, 39	19, 35, 3, 10	32, 19, 24	24	22, 33, 35, 2	22, 35, 2, 24	26, 27	18	Vibrações mecânicas
	18	Clareza	19, 1, 26, 17	1, 19	-	11, 15, 32	3, 32	15, 19	35, 19, 32, 39	19, 35, 28, 26	19	Ação periódica
	19	Energia dispensada (objeto móvel)	35, 38, 19, 18	34, 23, 16, 18	19, 21, 11, 27	3, 1, 32	-	1, 35, 6, 27	2, 35, 6	28, 26, 30	20	Continuidade de uma ação útil
	20	Energia dispensada (objeto imóvel)	-	3, 35, 31	10, 36, 23	-	-	10, 2, 22, 37	19, 22, 18	1, 4	21	Corrida apressada
	21	Potência	35, 20, 10, 6	4, 34, 19	19, 24, 26, 31	32, 15, 2	32, 2	19, 22, 31, 2	2, 35, 18	26, 10, 34	22	Conversão de prejuízo em proveito
	22	Perda de energia	10, 18, 32, 7	7, 18, 25	11, 10, 35	32	-	21, 22, 35, 2	21, 35, 2, 22	-	23	Reação
	23	Perda de massa	15, 18, 35, 10	6, 3, 10, 24	10, 29, 39, 35	16, 34, 31, 28	35, 10, 24, 31	33, 22, 30, 10	10, 1, 34, 29	15, 34, 33	24	Medição
	24	Perda de informação	24, 26, 28, 32	24, 28, 35	10, 28, 23	-	-	22, 10, 1	10, 21, 22	32	25	Auto-serviço
	25	Perda de tempo		35, 38, 18, 16	10, 30, 4	24, 34, 28, 32	24, 26, 28, 18	35, 18, 34	35, 22, 18, 39	35, 28, 34, 4	26	Cópia
	26	Quantidade de matéria	35, 38, 18, 16		18, 2, 28, 40	3, 2, 28	33, 30	35, 33, 29, 31	3, 35, 40, 39	29, 1, 35, 27	27	Objeto económico com vida curta (descartável)
	27	Fiabilidade	10, 30, 4	21, 28, 40, 3		32, 3, 11, 23	11, 32, 1	27, 35, 2, 40	35, 2, 40, 26	-	28	Substituição do sistema mecânico
	28	Precisão de medição	24, 34, 28, 32	2, 6, 32	5, 11, 1, 23		-	28, 24, 22, 26	3, 33, 39, 10	6, 35, 25, 18	29	Utilização de sistemas pneumáticos ou hidráulicos
	29	Precisão de fabrico	32, 26, 28, 18	32, 30	11, 32, 1	-		26, 28, 10, 36	4, 17, 34, 26	-	30	Membranas flexíveis ou películas finas
	30	Fatores prejudiciais que atuam sobre o objeto	35, 18, 34	35, 33, 29, 31	27, 24, 2, 40	28, 33, 23, 26	26, 28, 10, 18		-	24, 35, 2	31	Utilização de materiais porosos
	31	Efeitos colaterais prejudiciais	1, 22	3, 24, 39, 1	24, 2, 3, 33, 40, 39	3, 33, 26	4, 17, 34, 26	-	-	-	32	Mudança de cor
	32	Manufaturabilidade	35, 28, 34, 4	35, 23, 1, 24	-	1, 35, 12, 18	-	24, 2	-		33	Homogeneidade
	33	Conveniência de uso	4, 28, 10, 34	12, 35	17, 27, 8, 40	25, 13, 2, 34	1, 32, 35, 23	2, 25, 28, 39	-	2, 5, 12	34	Rejeição e recuperação de componentes
	34	Manutenção	32, 1, 10, 25	2, 28, 10, 25	11, 10, 1, 16	10, 2, 13	25, 10	35, 10, 2, 16	-	1, 35, 11, 10	35	Transformação do estado físico ou químico
	35	Adaptabilidade	35, 28	3, 35, 15	35, 13, 8, 24	35, 5, 1, 10	-	35, 11, 32, 31	-	1, 13, 31	36	Mudança de fase
	36	Complexidade do dispositivo	6, 29	13, 3, 27, 10	13, 35, 1	2, 26, 10, 34	26, 24, 32	22, 19, 29, 40	19, 1	27, 26, 1, 13	37	Expansão térmica
	37	Complexidade no controlo	18, 28, 32, 9	3, 27, 29, 18	27, 40, 28, 8	26, 24, 32, 28	-	22, 19, 29, 28	2, 21	5, 28, 11, 29	38	Utilização de oxidantes fortes
	38	Nível de automação	24, 28, 35, 30	35, 13	11, 27, 32	28, 26, 10, 34	28, 26, 18, 23	2, 33	2	1, 26, 13	39	Ambiente inerte
	39	Produtividade	-	35, 38	1, 35, 10, 38	1, 10, 34, 28	32, 1	22, 35, 13, 24	35, 22, 18, 39	35, 28, 2, 24	40	Materiais compósitos

			Pâmetros de engenharia piorados							Princípios inventivos	
			33	34	35	36	37	38	39	1	Segmentação
Pâmetros de engenharia a ser melhorados	1	Peso (objeto móvel)	35, 3, 2, 24	2, 27, 28, 11	29, 5, 15, 8	26, 30, 36, 34	28, 29, 26, 32	26, 35, 18, 19	35, 3, 24, 37	2	Extração
	2	Peso (objeto imóvel)	6, 13, 1, 32	2, 27, 28, 11	19, 15, 29	1, 10, 26, 39	25, 28, 17, 15	2, 26, 35	1, 28, 15, 35	3	Qualidade local
	3	Comprimento (objeto móvel)	15, 29, 35, 4, 7	1, 28, 10	14, 15, 1, 16	1, 19, 26, 24	35, 1, 26, 24	17, 24, 26, 16	14, 4, 28, 29	4	Assimetria
	4	Comprimento (objeto imóvel)	2, 25	3	1, 35	1, 26	26	-	30, 14, 7, 26	5	Combinação
	5	Área (objeto móvel)	15, 17, 13, 16	15, 13, 10, 1	15, 30	14, 1, 13	2, 36, 26, 18	14, 10, 28, 23	10, 26, 24, 32	6	Universidade
	6	Área (objeto imóvel)	16, 4	16	15, 16	1, 18, 36	2, 35, 30, 18	23	10, 15, 17, 7	7	Nidificação
	7	Volume (objeto móvel)	15, 13, 30, 12	10	15, 29	26, 1	29, 26, 4	35, 34, 16, 24	10, 6, 2, 34	8	Contrapeso
	8	Volume (objeto imóvel)	-	1	-	1, 31	2, 17, 26	-	35, 37, 10, 2	9	Contra-ação prévia
	9	Velocidade	32, 28, 13, 10	34, 2, 28, 27	15, 10, 26	10, 28, 4, 34	3, 34, 27, 16	10, 18	-	10	Ação prévia
	10	Força	1, 28, 3, 25	15, 1, 11	15, 17, 18, 20	26, 35, 10, 18	36, 37, 10, 19	2, 35	3, 28, 35, 37	11	Amortecimento prévio
	11	Tensão, Pressão	11	2	35	19, 1, 35	2, 36, 37	35, 24	10, 14, 35, 37	12	Equipotencialidade
	12	Forma	32, 15, 26	2, 13, 1	1, 15, 29	16, 29, 1, 28	15, 13, 39	15, 1, 32	17, 26, 34, 10	13	Inversão
	13	Estabilidade do objeto	32, 35, 30	2, 35, 10, 16	35, 30, 34, 2	2, 35, 22, 26	35, 22, 39, 23	1, 8, 35	23, 35, 40, 3	14	Esfericidade
	14	Resistência	32, 40, 28, 2	27, 11, 3	15, 3, 32	2, 13, 25, 28	23, 3, 15, 40	15	29, 35, 10, 14	15	Dinamismo
	15	Durabilidade (objeto móvel)	2, 27	29, 10, 27	1, 35, 13	10, 4, 29, 15	11, 29, 39, 35	6, 10	35, 17, 14, 19	16	Ação parcial ou excessiva
	16	Durabilidade (objeto imóvel)	1	1	2	-	25, 34, 6, 35	1	20, 10, 16, 38	17	Transição para uma nova dimensão
	17	Temperatura	26, 27	4, 10, 16	8, 18, 27	2, 17, 16	3, 27, 35, 31	26, 2, 19, 16	15, 28, 35	18	Vibrações mecânicas
	18	Claridade	28, 26, 19	15, 17, 13, 16	15, 1, 19	6, 32, 13	32, 15	2, 26, 10	2, 25, 16	19	Ação periódica
	19	Energia dispensada (objeto móvel)	19, 35	1, 15, 17, 28	15, 17, 13, 16	2, 29, 27, 28	35, 38	32, 2	12, 28, 35	20	Continuidade de uma ação útil
	20	Energia dispensada (objeto imóvel)	-	-	-	-	19, 35, 16, 25	-	1, 6	21	Corrida apressada
	21	Potência	26, 35, 10	35, 2, 10, 34	19, 17, 34	20, 19, 30, 34	19, 35, 16	28, 2, 17	28, 35, 34	22	Conversão de prejuízo em proveito
	22	Perda de energia	35, 32, 1	2, 19	-	7, 23	35, 3, 15, 23	2	28, 10, 29, 35	23	Reação
	23	Perda de massa	32, 28, 2, 24	2, 35, 34, 27	15, 10, 2	35, 10, 28, 24	35, 18, 10, 13	35, 10, 18	28, 35, 10, 23	24	Medição
	24	Perda de informação	27, 22	-	-	-	35, 33	33	13, 23, 15	25	Auto-serviço
	25	Perda de tempo	4, 28, 10, 34	32, 1, 10	35, 28	6, 29	18, 28, 32, 10	24, 28, 35, 30	-	26	Cópia
	26	Quantidade de matéria	35, 29, 25, 10	2, 32, 10, 25	15, 3, 29	3, 13, 27, 10	3, 27, 29, 18	8, 35	13, 29, 3, 27	27	Objeto económico com vida curta (descartável)
	27	Fiabilidade	27, 17, 40	1, 11	13, 35, 8, 24	13, 35, 1	27, 40, 28	11, 13, 27	1, 35, 29, 38	28	Substituição do sistema mecânico
	28	Precisão de medição	1, 13, 17, 34	1, 32, 13, 11	13, 35, 2	27, 35, 10, 34	26, 24, 32, 28	28, 2, 10, 34	10, 34, 28, 32	29	Utilização de sistemas pneumáticos ou hidráulicos
	29	Precisão de fabrico	1, 32, 35, 23	25, 10	-	26, 2, 18	-	26, 28, 18, 23	10, 18, 32, 39	30	Membranas flexíveis ou películas finas
	30	Fatores prejudiciais que atuam sobre o objeto	2, 25, 28, 39	35, 10, 2	35, 11, 22, 31	22, 19, 29, 10	22, 19, 29, 40	33, 3, 34	22, 35, 13, 24	31	Utilização de materiais porosos
	31	Efeitos colaterais prejudiciais	-	-	-	19, 1, 31	2, 21, 27, 1	2	22, 35, 18, 39	32	Mudança de cor
	32	Manufaturabilidade	2, 5, 13, 16	35, 1, 25, 11, 9	2, 13, 15	27, 26, 1	6, 28, 11, 1	8, 28, 1	35, 1, 10, 28	33	Homogeneidade
	33	Conveniência de uso		12, 26, 1, 32	15, 34, 1, 16	32, 26, 12, 17	-	1, 34, 12, 3	15, 1, 28	34	Rejeição e recuperação de componentes
	34	Manutenção	1, 12, 26, 15		7, 1, 4, 16	35, 1, 25, 13, 11	-	34, 35, 7, 13	1, 32, 10	35	Transformação do estado físico ou químico
	35	Adaptabilidade	15, 34, 1, 16, 7	1, 16, 7, 4		15, 29, 35, 28	1	27, 34, 35	35, 28, 6, 37	36	Mudança de fase
	36	Complexidade do dispositivo	27, 9, 26, 24	1, 13	29, 15, 28, 37		15, 10, 37, 28	15, 1, 24	12, 17, 28	37	Expansão térmica
	37	Complexidade no controlo	2, 5	12, 26	1, 15	15, 10, 37, 28		34, 21	35, 18	38	Utilização de oxidantes fortes
	38	Nível de automação	1, 12, 34, 3	1, 35, 13	27, 4, 1, 35	15, 24, 10	34, 27, 25		5, 12, 35, 26	39	Ambiente inerte
	39	Produtividade	1, 28, 7, 19	1, 32, 10, 25	1, 35, 28, 37	12, 17, 28, 24	35, 18, 27, 2	5, 12, 35, 26		40	Materiais compósitos

Anexo D

76 Soluções Padrão [53]

Classe 1 – Construir e destruir modelos Substância-Campo	
1.1 Construção de modelos Substância-Campo	
1.1.1 Construção de um modelo Substância-Campo	Se um determinado objeto não é recetivo (ou pouco recetivo) para mudanças necessárias e a descrição do problema não inclui quaisquer restrições para a introdução de substâncias ou campos, o problema pode ser resolvido através do preenchimento do modelo Substância-Campo para introduzir os elementos em falta.
1.1.2 Modelo interno Substância-Campo complexo	Se um determinado objeto não é recetivo (ou pouco recetivo) para mudanças necessárias e a descrição do problema não inclui quaisquer restrições à introdução de substâncias e de campos, o problema pode ser resolvido pela transição permanente ou temporária para o modelo interno complexo Substância-Campo, ou seja, introduzindo aditivos em S1 ou S2 para aumentar a controlabilidade, ou conferir as propriedades pretendidas para o modelo de Substância-Campo.
1.1.3 Modelo complexo externo Substância-Campo	Se um determinado objeto não é recetivo (ou pouco recetivo) para as mudanças necessárias e a descrição do problema inclui restrições à introdução de aditivos em substâncias existentes S1 e S2, o problema pode ser resolvido pela transição permanente ou temporária para o modelo externo Substância-Campo complexo, anexando S1 ou S2 à substância um externo S3, com a finalidade de aumentar a controlabilidade ou transmitir propriedades requeridas para o modelo de Substância-Campo.
1.1.4 Modelo substância-campo externo com o meio ambiente	Se um determinado modelo Substância-Campo não é recetivo (ou pouco recetivo) para mudanças necessárias, e a descrição do problema inclui restrições à introdução de aditivos, tanto nele como anexando substâncias a ele, o problema pode ser resolvido com a construção de um modelo Substância-Campo, utilizando o ambiente como um aditivo.
1.1.5 Modelo substância-campo com o ambiente e aditivos	Se o ambiente não contém as substâncias necessárias para criar um modelo de Substância-Campo de acordo com a solução padrão 1.1.4, estas substâncias podem-se obter mediante a substituição do meio ambiente, a sua decomposição ou a introdução de aditivos nele.
1.1.6 Modo mínimo	Se o modo mínimo (isto é, medido, ótimo) de ação é necessário e é difícil ou impossível de fornecê-lo, aplica-se o modo máximo, e em seguida, é recomendado eliminar o excedente. O campo excedente pode ser eliminado por uma substância e a substância excedente pode ser eliminada por um campo
1.1.7 Modo máximo	Se o modo máximo de uma ação de uma substância é necessário e é proibido por várias razões, a ação máxima deve ser mantida, mas dirigida sobre uma outra substância ligada ao primeiro.

1.1.8 Modo seletivo máximo	<p>Se um modo seletivo máximo é necessário (isto é, o modo máximo em zonas selecionadas e o modo mínimo em outras zonas), o campo deve ser:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Máximo: neste caso, uma substância protetora deve ser introduzida em todos os lugares onde a influência mínima é necessária; • Mínimo: neste caso, uma substância capaz de gerar um campo local deveria ser introduzida em todos os lugares onde a influência máxima é necessária.
1.2 Destruir modelos Substância-Campo	
1.2.1 Eliminando a interação prejudicial ao introduzir S3	Se existirem ações prejudiciais entre duas substâncias no modelo Substância-Campo, não é necessário que estas substâncias sejam estreitamente adjacentes uma à outra, o problema pode ser resolvido mediante a introdução de uma terceira substância entre estas duas substâncias, que não tem custo (ou aproximadamente).
1.2.2 Eliminando a interação prejudicial através da introdução de S1 modificado e/ou S2	Se existirem ações tanto úteis como prejudiciais entre duas substâncias no modelo de Substância-Campo, estas substâncias não têm de ser imediatamente adjacentes uma à outra, no entanto, a descrição do problema inclui restrições sobre a introdução de substâncias estranhas, o problema pode ser resolvido introduzindo, entre estas duas substâncias, uma terceira substância, que é uma modificação das substâncias existentes.
1.2.3 “Retirar” uma ação prejudicial	Se for necessário para eliminar a ação prejudicial de um campo de uma substância o problema pode ser resolvido mediante a introdução de uma segunda substância que “retira” a ação prejudicial.
1.2.4 Neutralizar uma ação prejudicial com F2	Se existirem ações tanto úteis como prejudiciais entre duas substâncias no modelo de Substância-Campo e estas substâncias, ao contrario das soluções padrão 1.2.1 e 1.2.2, devem ser imediatamente adjacentes uma à outra, o problema pode ser resolvido através da criação de um modelo duplo de Substância-Campo, em que a ação útil é executada pelo campo F1 e o segundo campo F2, neutraliza a ação prejudicial ou transforma a ação prejudicial numa ação útil.
Classe 2 – Melhorando os modelos Substância-Campo	
2.1 Transição para modelos Substância-Campo complexos	
2.1.1 Modelo de cadeia de Substância-Campo	Se é necessário para melhorar um modelo Substância-Campo, o problema pode ser resolvido mediante a transformação de um elemento do modelo em forma independente-controlada do modelo Substância-Campo completo e completo e criar um modelo de cadeia. S3 ou S4, por sua vez podem ser transformados em um modelo de Substância-Campo completo.

2.1.2 Modelo de Substância-Campo duplo	Se é necessário melhorar um modelo Substância-Campo de difícil controlo e a substituição de elementos é proibida, o problema pode ser resolvido através da construção de um modelo duplo através da aplicação de um segundo campo facilmente controlado.
2.2 Impondo modelos Substância-Campo	
2.2.1 Aplicação de campos mais controláveis	Um modelo de Substância-Campo pode ser reforçado através da substituição de um campo incontrolável ou de difícil controlo por um que é facilmente controlado.
2.2.2 Fragmentação de S2	Um modelo de Substância-Campo pode ser melhorada através do aumento do grau da fragmentação da substância utilizada como uma ferramenta.
2.2.3 Aplicação de substâncias capilares e porosas	<p>Um caso especial de fragmentação da substância é a transição de uma substância sólida para uma capilar ou porosa. Esta transição prossegue de acordo com a seguinte linha:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Substância sólida; • Substância sólida com uma cavidade; • Substância sólida com várias cavidades; • Substância capilar ou porosa; • Substância ou porosa com poros de estrutura e dimensões especiais. <p>À medida que a substância desenvolve de acordo com esta linha, a possibilidade de colocar um líquido nas cavidades ou poros cresce, bem como a aplicação de alguns fenómenos naturais.</p>
2.2.4 Dinamização	Um modelo de Substância-Campo pode ser reforçado para aumentar o seu nível de dinamismo, isto é, fazendo a estrutura do sistema mais flexível e fácil de mudar.
2.2.5 Campo estruturantes	<p>Um modelo Substância-Campo pode ser reforçado através da substituição de áreas homogêneas ou campos não estruturados tanto por campos heterogêneos como por campos de estrutura espacial permanente ou variável.</p> <p>Em particular se é necessário para conferir uma estrutura especial espacial a uma substância, que é (ou pode ser) incorporada no modelo Substância-Campo, o processo tendo uma estrutura que corresponde à estrutura necessária da substância.</p>
2.2.6 Substâncias estruturantes	Um modelo Substância-Campo pode ser melhorado, substituindo substâncias homogêneas ou não estruturadas tanto por substâncias heterogêneas como por substâncias com uma estrutura espacial permanente ou variável.
2.3 Aplicação por ritmos correspondentes	
2.3.1 Correspondendo os ritmos do F e S1 ou S2	A ação de um campo em um modelo Substância-Campo deve ser correspondido (ou intencionalmente mal correspondido) entre a frequência e a frequência natural do produto ou ferramenta.
2.3.2 Correspondendo os ritmos de F1 e F2	As frequências de campos aplicados em modelos Substância-Campo complexos devem ser compatíveis ou intencionalmente incompatíveis.
2.3.3 Correspondendo ações incompatíveis ou previamente independentes	Se duas ações são incompatíveis, uma delas deve ser realizadas durante as pausas da outra. Em geral, as pausas numa ação devem ser preenchidas por outra ação útil.

2.4 Modelos de campo ferromagnéticos (modelo Substância-Campo complexos forçados)	
2.4.1 Modelos pré-ferro-campo	Um modelo de Substância-Campo pode ser reforçado pela utilização de substâncias ferromagnéticas, juntamente com um campo magnético.
2.4.2 Modelos ferro-campo	Para melhorar a controlabilidade do sistema, é sugerido que um modelo Substância-Campo ou pré-ferro-campo seja substituído por um modelo de ferro-campo. Para fazer isto, as partículas ferromagnéticas devem ser substituídas por (ou adicionados a) uma substância, e um campo magnético ou eletromagnético aplicado. Fichas, grânulos, grãos, etc., podem também ser considerados como partículas ferromagnéticas. A eficiência de controlo aumenta com a maior fragmentação das partículas ferromagnéticas finamente moídas. A eficiência de controlo também aumenta ao longo da linha em relação a essa na qual a substância da partícula de ferro está incluído: substância sólida – grânulos – pó – líquido.
2.4.3 Líquidos magnéticos	Modelos ferro-campo podem ser melhorados através da utilização de líquidos magnéticos. Um líquido magnético é uma solução coloidal de partículas ferromagnéticas em um líquido, tal como o querosene, o silicone, a água, etc. A solução padrão 2.4.3 pode ser considerada o último caso de evolução.
2.4.4 Aplicando estruturas capilares em modelos ferro-campo	Modelos ferro-campo podem ser melhorados utilizando as estruturas capilares ou porosas inerentes em muitos destes modelos.
Classe 3 – Transição para supersistemas e níveis micro	
3.1 Transição para bi-sistemas e poli-sistemas	
3.1.1 Sistema de transição 1-a: a criação de bi-sistemas e poli-sistemas	O desempenho do sistema, em qualquer fase da evolução pode ser reforçado por transição do sistema 1-a: combinando o sistema com um outro sistema, construindo assim um bi-sistema ou um poli-sistema complexo.
3.1.2 Eles reforçados em bi-sistemas e poli-sistemas	Bi-sistemas e poli-sistemas podem ser melhorados através do desenvolvimento dos elos das relações entre os seus elementos.
3.1.3 Sistema de transição 1-b: aumentar as diferenças entre elementos	Bi-sistemas e poli-sistemas podem ser melhorados através do aumento das diferenças entre seus elementos de transição (sistema 1-b): a partir de elementos idênticos, para elementos com características alteradas, para um conjunto de elementos diferentes, para uma combinação de características invertidas – ou “elemento e anti-elemento”.
3.1.4 Simplificação dos bi-sistemas e poli-sistemas	Bi-sistemas e poli-sistemas podem ser melhorados através da simplificação do sistema, em primeiro lugar, sacrificando peças auxiliares. Completamente simplificado bi-sistemas e poli-sistemas tornam-se mono-sistemas de novo, e todo o ciclo pode ser repetido com um novo nível.
3.1.5 Sistemas de transição 1-c: características opostas de todo e suas partes	Bi-sistemas e poli-sistemas podem ser melhoradas através da separação das características incompatíveis entre o sistema como um todo e suas partes (transição de sistema 1-c). Como resultado, o sistema é utilizado em dois níveis, com todo o sistema a ter a característica F, e as suas partes ou partículas tendo a característica oposta, anti F.

Classe 4 – Soluções-Padrão para a detecção e medição	
4.1 Métodos indiretos	
4.1.1 Substituir a detecção ou a medição com a alteração do sistema	Se tiver um problema com a detecção ou a medição, é adequado modificar o sistema de uma maneira que torna a necessidade de resolver o problema obsoleto.
4.1.2 Aplicação de cópias	Se tem um problema com a detecção ou medição, e é impossível aplicar a solução padrão 4.1.1, é adequado manipular uma cópia ou uma foto de um objeto em vez do próprio objeto.
4.1.3 Medição como duas detecções consecutivos	Se tiver um problema com a detecção ou medição e é impossível aplicar as Soluções-Padrão 4.1.1 e 4.1.2, é adequado transformar o problema em um, onde duas detecções consecutivos de variação são efetuadas.
4.2 Construção de medição de modelos Substância-Campo	
4.2.1 Medição do modelo Substância-Campo	Se um modelo Substância-Campo incompleto é difícil de medir ou detetar, o problema pode ser resolvido por preenchimento de um regular ou duplo modelo Substância-Campo com um campo de saída.
4.2.2 Medição do modelo complexo Substância-Campo	Se um modelo ou a sua parte é difícil de detetar ou medir, o problema pode ser resolvido por transição para o interior ou exterior do modelo complexo Substância-Campo com a introdução de aditivos de fácil detecção.
4.2.3 Medição do modelo Substância-Campo com o meio ambiente	Se um sistema é difícil de detetar ou medir em certos momentos no tempo, e é impossível introduzir aditivos, devem ser introduzidos nos ambientes aditivos capazes de gerar uma fácil detecção (ou fácil medição) do campo; alterações no estado do ambiente irão fornecer informações sobre as alterações no sistema.
4.2.4 Obtenção de aditivos no ambiente	Se não for possível a introdução de aditivos no meio ambiente em conformidade com a solução padrão 4.2.3, estes aditivos podem ser produzidos no próprio ambiente, por exemplo, através da sua destruição ou alterando o seu estado de fase. No gás, em particular ou bolhas de vapor obtidas por eletrólise, ou por cavitação, ou outros métodos são frequentemente aplicados.
4.3 Reforçando a medição dos modelos Substância-Campo	
4.3.1 Aplicando efeitos físicos e fenómenos	A eficácia de medição e/ou detecção de um modelo Substância-Campo pode ser reforçada pela utilização de fenómenos físicos.
4.3.2 Aplicando oscilações de ressonância de uma amostra	Se é impossível detetar diretamente ou medir as mudanças num sistema e passar um campo através do sistema também é impossível, o problema pode ser resolvido através da geração de oscilações de ressonância de qualquer sistema como um todo ou parte dele; variações na frequência de oscilações fornecem informações sobre alterações.
4.3.3 Aplicando oscilações de ressonância de um objeto combinado	Se a aplicação de solução padrão 4.3.2 é impossível, a informação sobre o estado do sistema pode ser obtida através de oscilações livres de um objeto ou do ambiente, ligadas ao sistema.

4.4 Transição para ferro-campos modelo	
4.4.1 Medição do modelo pré ferro-campo	Modelos Substâncias-Campo com campos não magnéticos, são capazes de se transformar em modelos pré-ferro-campo que contêm substâncias magnéticas e um campo magnético.
4.4.2 Medição modelo de ferro-campo	A eficácia de uma medição e/ou detecção de um modelo substância-campo ou pré-ferro-campo pode ser melhorada através de uma transição para um modelo ferro-campo, substituindo uma das substâncias com partículas ferromagnéticas ou pela adição de partículas ferromagnéticas.
4.4.3 Medição complexa do modelo de ferro-campo	Se a eficácia de medição e/ou de detecção pode ser reforçada através da transição para um modelo de ferro-campo, mas a substituição de substâncias com partículas ferromagnéticas é proibida, esta transição pode ser realizada através da criação de um modelo complexo ferro-campo através da introdução de aditivos na substância.
4.4.4 Medição modelo ferro-campo com o meio ambiente	Se a eficácia de medição e/ou detecção pode ser reforçada através da transição para um modelo de ferro-campo, mas a introdução de partículas ferromagnéticas é proibida, as partículas devem ser introduzidas no ambiente.
4.4.5 Aplicação de efeitos físicos e fenômenos	A eficácia de uma medição e/ou detecção do modelo Substância-Campo ou pré-ferro-campo pode ser melhorada através da aplicação de fenômenos físicos.
4.5 Direção da evolução de sistemas de medição	
4.5.1 Transição para bi-sistemas e poli-sistemas	A eficácia de uma medição e/ou detecção do modelo substância-campo ou pré-ferro em qualquer fase da evolução pode ser melhorada através da construção de um bi-sistema ou de um poli-sistema.
4.5.2 Direção da evolução	Sistemas de medição e/ou detecção evoluem na seguinte direção: <ul style="list-style-type: none"> • Medição de uma função; • Medição da primeira derivada da função; • Medição da segunda derivada da função.

Classe 5 -Normas para a aplicação das Soluções-Padrão	
5.1 Introduzindo substâncias	
5.1.1 Métodos indiretos	<p>Se as condições de trabalho não permitem a introdução de substâncias num sistema, as seguintes maneiras indiretas devem ser utilizadas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aplicação do “vazio” (espaço aberto) em vez da substância; • Introdução de um campo em vez de substância; • Aplicação de um aditivo externo, em vez de um interno; • Introduzindo uma pequena quantidade do aditivo muito ativo; • Introdução de uma pequena quantidade do aditivo na forma concentrada em locais específicos; • Introduzindo o aditivo temporariamente; • Aplicando um modelo ou cópia de um objeto, em vez do próprio objeto, permitindo a introdução de aditivos; • Obtenção de aditivos necessários através da decomposição dos produtos químicos introduzidos.
5.1.2 Dividir uma substância	Se um sistema não responde a alterações e modificar a ferramenta ou introduzir aditivos é proibido, partes que interagem da peça de trabalho podem ser utilizadas em vez da ferramenta.
5.1.3 Auto eliminação de substâncias	Após a realização do seu trabalho, uma substância introduzida deve desaparecer ou tornar-se idêntica a substâncias já existentes no sistema ou no meio ambiente.
5.1.4 Introduzindo substâncias em grandes quantidades	Se as condições não permitem a introdução de grandes quantidades de uma substância, o “vazio” como estrutura inflável ou de espuma pode ser utilizada em vez da substância.
5.2 Introdução de campos	
5.2.1 Uso múltiplo de campos disponíveis	Se for necessário introduzir um campo em um modelo substância-campo, deve-se em primeiro lugar, aplicar campos existentes cujos portadores são as substâncias envolvidas.
5.2.2 Introdução de campos a partir do ambiente	Se é necessário introduzir um campo, mas é impossível fazê-lo, de acordo com solução padrão 5.2.1, tente aplicar campos existentes no meio ambiente.
5.2.3 Utilizar substâncias capazes de originar campos	Se um campo não pode ser introduzido em conformidade com as soluções padrão 5.2.1 e 5.2.2, deve-se aplicar campos que podem ser gerados por substâncias existentes ou no ambiente.
5.3 Transições de fase	
5.3.1 Transição de fase 1: mudança de fase	A eficácia da aplicação de uma substância (sem a introdução de outras substâncias) pode ser melhorada através da transição de fase 1, isto é, por transformação de fase de uma substância existente.
5.3.2 Transição de fase 2: estado de fase dinâmico	As características duais de uma substância podem ser realizadas através da transição de fase 2, isto é, através da utilização de substâncias capazes de alterar o seu estado de fase, dependendo das condições de trabalho.

5.3.3 Transição de fase 3: utilizando fenómenos associados	Um sistema pode ser melhorado usando a transição de fase 4, isto é, mediante a aplicação de fenómenos que acompanham uma transição de fase.
5.3.4 Transição de fase 4: transição para um estado de dupla fase	As características duais de um sistema podem ser realizadas através da transição de fase 4, isto é, por substituição de um estado monofásico por um estado de fase dupla.
5.3.5 Interação de fase	A eficácia de um sistema utilizando a transição de fase 4, pode ser melhorada através da criação de interações entre as partes ou fases do sistema.